

# THÈSES

présentées à la

FACULTÉ DES SCIENCES DE NANCY

pour obtenir

LE DIPLOME D'INGÉNIEUR-DOCTEUR

par

**H. BECK**

Ingénieur Agricole

Ingénieur Brasseur

Délégué dans les fonctions de Chef de Travaux  
à la Faculté des Sciences de Nancy

---

## 1<sup>re</sup> THÈSE

**Etude d'un appareil destiné à apprécier  
la désagréation du malt  
" Le scléromètre "**

---

## 2<sup>e</sup> THÈSE

**Les ultrasons  
et leurs applications en brasserie**

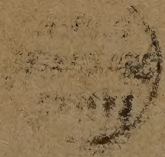
Soutenues le 30 juin 1955 devant la Commission d'Examen

MEMBRES DU JURY :

Président : M. le Doyen E. URION

Examineurs { M. BARRIOL  
                  { M. CHAPELLE

---



# THÈSE

présentée à la Faculté des Sciences de Nancy

pour obtenir

le **Diplôme d'Ingénieur-Docteur**

par

**H. BECK**

*Ingénieur Agricole*

*Ingénieur Brasseur*

*Délégué dans les fonctions de Chef de Travaux  
à la Faculté des Sciences de Nancy*

---

**PREMIERE THESE**

## ÉTUDE D'UN APPAREIL DESTINÉ A APPRÉCIER LA DÉSAGRÉGATION DU MALT “ **LE SCLÉROMÈTRE** ”

---

**DEUXIEME THESE**

## **LES ULTRASONS ET LEURS APPLICATIONS EN BRASSERIE**



---

*Soutenue le 30 juin 1955 devant la Commission d'Examen*

Président : M. le Doyen E. URION

Examineurs : MM. BARRIOL, CHAPELLE



En souvenir de mon PERE

A ma MERE

A ma FEMME

*En gage de ma  
profonde affection*

*A tous ceux, vivants ou morts,  
qui sont miens par le sang et l'affection*



A MES MAITRES

Monsieur le Doyen URION  
Directeur de l'Ecole de Brasserie de Nancy

Monsieur BARRIOL  
Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy

*En témoignage de  
ma très grande reconnaissance*



## AVANT-PROPOS

---

*Le travail que nous présentons a été inspiré par M. le Doyen Urion et a été poursuivi à l'Ecole de Brasserie de Nancy.*

*Nous tenons à exprimer à notre Maître nos sincères remerciements et notre plus profonde gratitude pour les conseils si précieux qu'il n'a cessé de nous prodiguer et pour les facilités qu'il nous a accordées lors de l'étude, la réalisation et la mise au point de l'appareil que nous avons construit.*

*Nous prions M. le Professeur Barriol de bien vouloir trouver ici l'expression de notre reconnaissance pour la bienveillante attention et l'aide qu'il nous a apportée au cours de notre étude.*

*Nous prions également M. Chapelle, Maître de conférence de physique, d'agréer nos plus sincères remerciements pour avoir bien voulu accepter de faire partie de notre jury d'examen.*

*Nous tenons également à exprimer nos remerciements à notre camarade Lucien Chapon, Chef de Travaux à l'Ecole de Brasserie, pour les conseils éclairés et les services qu'il nous a rendu lors de la mise au point de notre appareil.*

*Enfin, nous tenons à associer à nos remerciements le Chef mécanicien de l'Ecole de Brasserie, M. Barabinot, pour son aide efficace et les conseils si judicieux qu'il nous a prodigués lors de la réalisation matérielle souvent si délicate des appareils expérimentaux que nous avons été appelés à construire.*



# UNIVERSITÉ DE NANCY - FACULTÉ DES SCIENCES

**DOYEN : M. E. URION**

## PROFESSEURS :

| MM.          |                       | MM.      |                                 |
|--------------|-----------------------|----------|---------------------------------|
| DE MALLEMANN | Physique générale     | GERIN    | Chimie industrielle             |
| CORNUBERT    | Chimie organique      | GAUTHIER | Mathématiques appliquées        |
| URION        | Chimie biologique     | ECHEVIN  | Botanique                       |
| LONGCHAMBON  | Minéralogie           | VEILLET  | Biologie animale                |
| CHEVALLIER   | Physique générale     | VAHL     | Chimie org. indus.              |
| REMY         | Zoologie générale     | BARRIOL  | Chimie théorique                |
| DELSARTE     | Analyse supérieure    | GOUDET   | Electronique                    |
| ROUBAULT     | Géologie              | BIZETTE  | Physique                        |
| LETORT       | Chimie minérale       | OLMER    | Physique appliquée              |
| DIEUDONNE    | Mécanique rationnelle | GODEMENT | Calcul différentiel et intégral |
| DODE         | Chimie physique       |          |                                 |

## MAITRES DE CONFERENCE :

| MM.      |                         | MM.      |                       |
|----------|-------------------------|----------|-----------------------|
| BOLFA    | Minéralogie             | FRUHLING | Radio-technique       |
| LEGRAS   | Mathématiques générales | COMOLET  | Mécanique-physique    |
| FAIVRE   | Phys. état métal.       | AVIAS    | Géologie              |
| VERNER   | Botanique               | DUBOIS   | Chimie                |
| GARNIER  | Agronomie               | GUILLIEN | Physique              |
| CHAPELLE | Physique                | BESSON   | Chimie minérale       |
| AUBRY    | Chimie                  | MANGENOT | Phytopathologie       |
| DAVID    | Chimie biologique       | NICLAUSE | Chimie générale       |
| GIBERT   | Physico-chimie ind.     | SERRE    | Mécanique rationnelle |
| DELATTRE | Géo-chimie              | LYONS    | Calcul différentiel   |
| GAYET    | Physiologie             |          |                       |

## DOYENS HONORAIRES :

MM. HUSSON et CORNUBERT

## PROFESSEURS HONORAIRES :

| MM.          |              |         |          |          |
|--------------|--------------|---------|----------|----------|
| DARMOIS (E.) | DARMOIS (G.) | LAFITTE | MAUDUIT  | LAPORTE  |
| GUTTON       | RAYBAUD      | LEROY   | DONZELOT | EICHHORN |
| CROZE        | FALLOT       | HUSSON  | JOLY     | CAPELLE  |

## MAITRE DE CONFERENCE HONORAIRES :

MM. RAUX et LIEHNART

## SECRETAIRE :

M. LAPOINTE



# ÉTUDE D'UN APPAREIL DESTINÉ A APPRÉCIER LA DÉSAGRÉGATION DES MALTS LE SCLÉROMÈTRE

*Thèse présentée à la Faculté des Sciences de Nancy  
par M. H. BECK, Ingénieur agricole, Ingénieur brasseur  
pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur-Docteur*

## DÉSAGRÉGATION D'UN GRAIN DE MALT

Au cours de la germination d'un grain d'orge, il se produit dans l'amande, des modifications à la fois d'ordre physique et chimique, que l'on qualifie de « désagrégation ».

Ces transformations sont essentiellement le résultat des actions enzymatiques et, en premier lieu, d'un enzyme appelé « cytase » qui paraît secrété par l'embryon.

Les cellules de l'amande sont bourrées de substances de réserve, et principalement d'amidon, destinées à alimenter la plantule au début de son développement. La cytase dégrade et solubilise les hémicelluloses, constituant des parois cellulaires. D'autres diastases entrent en jeu : les protéases digèrent le ciment protéique enrobant les grains d'amidon et les amylases, qui s'activent peu à peu, commencent à corroder superficiellement ces grains. Les divers produits de dégradation, solubilisés dans le milieu aqueux qui imprègne l'amande, peuvent alors diffuser — les barrières formées par les membranes cellulaires ayant été rompues par l'effet de la cytase — et parvenir au germe qui, abondamment alimenté, se développe.

Au cours du développement de l'embryon, la plumule s'insère entre le testa et la glumelle inférieure, le long de la face dorsale du grain. L'action simultanée des diverses diastases progresse de la base vers la pointe, précédant quelque peu l'extrémité de la plumule lorsque la germination est conduite suffisamment lentement. Le réseau de matières protéiques, pectiques et gommeuses, qui soudent les cellules entre elles, est dégradé parallèlement.

L'ensemble de ces phénomènes complexes se traduit par une modification physique de l'amande qui devient progressivement friable. Cette friabilité est le résultat de la simplification des particules qui constituaient un véritable ciment autour des granules d'amidon.

On conçoit, d'après ce mécanisme, que la pointe du grain opposée au germe soit atteinte en dernier lieu ; or, il est indispensable pour le brasseur que la désagrégation soit complète, et qu'elle touche l'amande dans son ensemble. En effet, les parties non désagrégées se broient mal au moulin et donnent des semoules grossières où les grains d'amidon restent enrobés d'un ciment protecteur. Elles sont difficilement accessibles aux diastases qui, au cours du brassage, doivent en amener la saccharification. Il en résulte une baisse sensible du rendement du malt. De plus, le brassage disperse dans le moût des matières mal dédoublées, en particulier des substances protéiques, que les diastases n'arrivent pas à attaquer pendant la courte durée du brassin. Il en résulte des difficultés de clarification et surtout une moindre stabilité colloïdale de la bière finie.

Il est donc extrêmement important de connaître l'état de désagrégation des malts qui doivent être soumis à saccharification ; pour cela, il convient de définir le phénomène pour en déduire le principe de technique des contrôles. Or, des divergences d'interprétation se révèlent, qui ressortent des termes employés dans les divers pays pour désigner ce phénomène : en Allemagne, le terme « Auflösungsgrad » semble se référer surtout à l'action enzymatique entraînant un certain « degré de solubilisation » ; en Angleterre, c'est l'expression « degree of modification » qui est employée. Ce terme, plus général, englobe à la fois les modifications chimiques et mécaniques ; en France, l'appellation « désagrégation » semble surtout viser l'aspect physique, la disparition de la cohésion.

De nombreuses méthodes de contrôle ont été proposées. Elles reposent sur des principes différents, chacun s'adressant plus spécialement à un des aspects du problème ; de ce fait, elles ne se recoupent pas toutes et dans tous les cas. Nous allons examiner les principales techniques proposées.

# DIFFÉRENTES MÉTHODES D'APPRÉCIATION DE LA DÉSAGRÉGATION

## A — METHODES CHIMIQUES

Par dosage des produits de dégradation résultant de l'activité de l'ensemble des enzymes du malt ou de certains seulement d'entre eux.

Nous ne citerons que pour mémoire, l'examen des moûts au cours de l'analyse conventionnelle : durée de saccharification et aspect du moût à la filtration.

### a) Extraits obtenus dans diverses conditions :

*Différences obtenues avec une farine fine et une farine grossière.*

Deux brassins conventionnels sont exécutés sur le même malt, l'un sur une mouture à 90 % de farine fine, et l'autre sur une mouture à 40 % de farine fine. Les différences de rendement obtenues renseignent sur l'état de désagrégation.

Malheureusement, les écarts sont relativement faibles (0,3 à 1 % pour un malt bien désagrégué, et de 1 à 2 % pour un malt mal désagrégué) et les erreurs d'analyses relativement importantes, puisqu'elles peuvent osciller entre 0,2 et 0,6 %. D'après Schreder, Bruner et Hampe (1), il faudrait faire quatre brassins sur mouture fine et six sur mouture grossière pour déterminer la différence de rendement à 0,1 % près.

Kolbach (2) a proposé de régler la mouture grossière à 25 % de farine fine pour obtenir des différences plus accusées s'échelonnant entre 2,2 et 4,6 %. Les normes d'appréciation seraient :

| Ecart pour 90-40 %<br>de farine fine | Ecart pour 90-25 %<br>de farine fine | Qualité de la<br>désagrégation |
|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| Inférieur à 0,7 %                    | Inférieur à 2,2 %                    | très bonne                     |
| 0,8 à 1 %                            | 2,2 à 3,0 %                          | bonne                          |
| 1,1 à 1,3 %                          | 3,1 à 3,8 %                          | moyenne                        |
| 1,3 à 1,6 %                          | 3,9 à 4,6 %                          | mauvaise                       |
| Supérieur à 1,6 %                    | Supérieur à 4,6 %                    | très mauvaise                  |

Cette méthode donne des renseignements précieux, malheureusement la difficulté d'un réglage très précis des moulins, l'imprécision du contrôle du degré de finesse de la mouture et les erreurs analytiques, la rendent délicate et longue.

### *Comparaison des moûts obtenus par infusion et décoction :*

Cette méthode proposée par Piratsky et Rehberg (3) compare l'extrait obtenu avec le moût d'analyse suivant la méthode de Salzbourg, à celui obtenu avec un brassin par décoction inspiré du procédé d'analyses des orges. La différence est d'autant plus faible que le malt est mieux désagrégué. La comparaison de l'azote solubilisé dans chacune des deux méthodes donne une idée précise de la transformation protéique. Cette méthode est longue, mais les résultats qu'elle donne sont intéressants.

*Extrait à l'eau froide (4) :* C'est une méthode très employée en Angleterre pour déterminer l'indice de désagrégation. L'extrait cédé renseigne sur le résultat des actions diastasiques au cours du maltage. Il croît avec la désagrégation (de 19 à 23 % pour les malts pâles, et de 18 à 20 % pour les malts foncés).

La méthode est rapide, donne des renseignements précieux, mais la reproductibilité n'est pas parfaite.

### *Méthode Hartong :*

Elle consiste à déterminer les extraits obtenus dans quatre brassins effectués à 25, 45, 65 et 85° C. On atteint ainsi :

l'action propre des enzymes formés au maltage, pour l'extrait effectué à 25° C.

Il s'y ajoute :

l'action protéolytique au brassage, pour l'extrait effectué à 45° C. ;

l'action saccharifiante au brassage pour l'extrait effectué à 65° C. ;

l'action liquéfiant au brassage pour l'extrait effectué à 85° C. ;

Les divers résultats sont exprimés en % de l'extrait obtenu par la méthode conventionnelle de Salzbourg, avec le même malt.

De ces taux, on prend la moyenne qui oscille entre 60 et 70 et, en retranchant 60, on obtient un chiffre de dissolution variant de 0 à 10.

(1) *Woch. f. Brauerei*, 1938, n° 15, p. 114.

(2) *Woch. f. Brauerei*, 1938, n° 1, p. 1 ; n° 2, p. 9.

(3) *Woch. f. Brauerei*, 1935, n° 12, p. 89.

(4) De Clerck, Cours de Brasserie, vol. 1, p. 256.

L'appréciation des résultats d'après Hartong (5) serait la suivante :

- 0 à 3,5 : désagrégation insuffisante,
- 4 à 4,5 : désagrégation normale,
- 5 : désagrégation idéale,
- 5,5 à 6 : désagrégation poussée, convenant pour les bières pasteurisées,
- 6,5 à 10 : malt forcé.

Dieterlen (6) a montré que l'intensité du touraillage influençait les résultats.

La méthode est longue et reste insuffisante, bien qu'elle permette d'obtenir des résultats intéressants.

## b) Taux de protéolyse :

### *Indice Kolbach :*

An cours de l'analyse courante des malts, on se contente de déterminer généralement l'azote total et l'azote soluble. Kolbach (7) a pensé pouvoir affirmer que la proportion de protéines solubles varie parallèlement au degré de désagrégation : pour une germination à température constante, plus la plumule est longue plus il y a de protéines dégradées ; plus la température est basse pour une même longueur de plumule, plus il y a de protéines solubilisées.

Cet auteur a montré que le rapport entre les protéines solubles et totales oscille entre 28 et 48 %. Il estime que :

- au-dessus de 41 %, la désagrégation est très bonne,
- de 41 à 35 %, la désagrégation est moyenne,
- au-dessous de 35 %, la désagrégation est insuffisante,

Malheureusement, cette appréciation est très imparfaite. En effet, à partir du cinquième jour de germination, il se produit une sérieuse resynthèse des protéines dans le germe, alors que la friabilité continue à s'améliorer jusqu'à la fin.

Le rapport protéines solubles/protéines totales est également influencé par la variété, comme l'ont montré les travaux de Thunaeus et Schröderheim (8), la trempe et les reprises d'air vicié au cours de la germination.

La méthode donne des renseignements précieux pour un malteur travaillant dans des conditions définies, mais il ne convient pas d'attribuer une valeur trop absolue aux résultats.

### *« Azote formol ».*

L'azote formol dosé sur le moût d'analyse renseigne sur la teneur en groupements aminés libres représentant sensiblement l'azote assimilable par les levures.

D'après Menzel (9), les malts pâles devraient en contenir de 200 à 300 milligrammes pour 100 grammes de malt. Des chiffres plus élevés indiquent un forçage et, plus faibles, une désagrégation insuffisante.

Dans les malts foncés, il ne s'en trouve que de 130 à 160 milligrammes en raison de la formation des mélanoidines au cours du touraillage.

Les résultats sont malheureusement influencés par les mêmes facteurs que l'indice Kolbach.

### *Méthode Lundin :*

Lundin (10) propose de séparer les protéines solubles du malt en trois fractions :

- A - Matières azotées complexes précipitables par le tanin en milieu légèrement acide ;
- B - Matières azotées moyennes précipitables par l'acide phosphomolybdique ;
- C - Matières azotées simples, non précipitables.

La méthode est relativement longue et renseigne plutôt sur la composition azotée du moût que sur la désagrégation du malt.

### *Dosage de l'hordéïne proposé par Luers et Geiger (11)*

Ces auteurs ont montré, à la suite des travaux de Bishop (12) qu'au cours de la germination, c'est l'hordéïne qui forme le substrat essentiel de la protéolyse. Ils proposent donc d'apprécier la désagrégation en dosant l'hordéïne du malt (azote soluble dans l'alcool aqueux chaud après avoir extrait la mouture aux solutions salines aqueuses étendues).

(5) *Woch. f. Brauerei*, 1936, n° 11, p. 81.

(6) *Le Brasseur Français*, 1937, n° 8, p. 180.

(7) *Woch. f. Brauerei*, 1933, n° 41, p. 343.

(8) *Woch. f. Brauerei*, 1935, n° 45, p. 357 et n° 46, p. 369.

(9) *Woch. f. Brauerei*, 1935, n° 14, p. 105.

(10) Pawlowsky-Doemens, *Die Brautechnische Untersuchungsmethoden*, 1938, p. 146.

(11) *Woch. f. Brauerei*, 1935, n° 25, p. 193.

(12) *Journal of Institute of Brewing*, 1928, n° 31.

Un malt ayant :

|       |   |               |                     |    |      |    |      |            |
|-------|---|---------------|---------------------|----|------|----|------|------------|
| 12-13 | % | d'azote total | contient en moyenne | 29 | à    | 30 | %    | d'hordéïne |
| 11-12 | % | »             | »                   | »  | 27,5 | à  | 28,5 | %          |
| 10-11 | % | »             | »                   | »  | 25   | à  | 26,5 | %          |
| 9-10  | % | »             | »                   | »  | 24   | à  | 25   | %          |

Avec un malt bien désagrégué, la teneur en hordéïne est plus faible que la moyenne et avec un malt mal désagrégué, elle est supérieure.

Les indications de cette méthode ne sont utiles que si l'on connaît la teneur en hordéïne de l'orge initiale, ce qui est rarement le cas dans les conditions habituelles du contrôle industriel d'un malt.

*Remarque.* — Le dosage des diverses fractions protéïques ne renseigne donc que très imparfaitement sur la désagréguation.

## B — VISCOSITE DU MOUT D'ANALYSE

Il s'agit également d'apprécier l'activité d'un groupe d'enzymes, mais par une méthode physique.

Piratsky et Wiecha (13) ont proposé de contrôler la viscosité du moût d'analyse par écoulement dans un tube fin. En effet, la viscosité du moût diminue rapidement au début de la germination, puis plus lentement pour atteindre une limite après huit à dix jours. Elle serait uniquement dépendante de la teneur en gommes et en particulier de l' $\alpha$  amylane.

Cependant les écarts restent faibles entre les divers malts et la viscosité est influencée par la variété de l'orge et des conditions culturales.

## C — METHODES MECANQUES ET PHYSIQUES

### a) Longueur de la plumule :

Comme nous le disions plus haut, le front de la désagréguation précède quelque peu la progression de la plumule lorsque la germination est conduite froide et régulière.

Le mode de germination influence la vitesse relative de la progression de la désagréguation et de la plumule. Dans une germination froide avec accumulation de CO<sub>2</sub> (procédé Kropff), le développement de la plumule est freiné sans altération de la progression de la désagréguation. Au contraire, pour un malt germé chaud, la plumule avance plus vite que la désagréguation ; celle-ci devient alors irrégulière, laissant des îlots non touchés dans l'amande.

Le contrôle de la longueur de la plumule renseigne plus sur la régularité de la germination que sur la désagréguation. L'appréciation est assez délicate et se trouve grandement facilitée par l'emploi d'un comparateur comme la règlette de Bloch (14).

### b) Essai de plongeurs-nageurs :

Cet essai est basé sur la différence de densité entre les grains suivant leur état de désagréguation.

Le poids spécifique du grain d'orge est de 1,25, alors que celui du grain de malt oscille entre 1 et 0,94. Il en résulte que les grains bien désagrégués devraient flotter, alors que ceux mal désagrégués devraient plonger dans l'eau distillée. Malheureusement, des bulles d'air restent adhérentes aux enveloppes partiellement éclatées et ont tendance à maintenir les grains en surface. De plus, les grains fortement lésés coulent systématiquement.

Diverses méthodes ont été préconisées pour éliminer l'influence des bulles d'air (agitation, polissage préalable, emploi de liquides de densités diverses, addition de mouillants à l'eau, utilisation d'ultra-sons...) sans résultats appréciables.

### c) Appréciation de la vitrosité :

La vitrosité se détermine généralement à l'aide d'un « farinatome » à coupe longitudinale. Les grains coupés dans le sens de la longueur sont examinés et classés suivant l'aspect de l'amande en : glacés, demi-glacés, à pointe vitreuse, farineux.

En attribuant le coefficient 1 aux grains de la première catégorie, 1/2 à ceux de la deuxième et 1/4 à ceux de la troisième, Rotenbach et Silbereisen (15) estiment que :

au-dessous de 4 %, la désagréguation est très bonne,  
de 4 à 8 %, la désagréguation est bonne,  
de 8 à 12 %, » satisfaisante,  
de 12 à 16 %, » insuffisante,  
au-dessus de 16 %, la désagréguation est mauvaise.

De Clerck (16) propose une classification plus serrée :

(13) Woch. f. Brauerei, 1938, p. 97, n° 13.

(14) Le Brasseur Français, 1937, n° 1, p. 10.

(15) Woch. f. Brauerei, 1937, p. 57.

(16) Cours de Brasserie, 1948, vol. 1, p. 248.

de 0 à 2,5 %, très bonne désagrégation,  
de 2,5 à 5 %, bonne désagrégation,  
de 5 à 7,5 % désagrégation satisfaisante,  
de 7,5 à 10 %, désagrégation insuffisante,  
plus de 10 %, mauvaise désagrégation.

Ce contrôle est très subjectif et assez imprécis. De plus, il peut apparaître une vitrosité accidentelle due au glaçage au cours du touraillage, ce qui fausse les résultats. Il représente malgré tout, jusqu'à présent, un des moyens les plus sûrs pour contrôler l'état de désagrégation.

On s'est également servi du diaphanoscope qui permet d'examiner les grains par transparence sous fort éclairage. Les parties vitreuses apparaissent translucides, alors que les parties farineuses sont opaques.

L'usage de cet appareil conduit à une appréciation du pourcentage de grains vitreux par excès, due en particulier aux différences d'épaisseurs des diverses parties de l'amande. Le diaphanoscope permet cependant de différencier en partie la vitrosité provenant d'une insuffisance de désagrégation de celle provenant du touraillage. Mais le contrôle demeure très subjectif.

#### d) Epreuve à la dent :

Les grains sont éprouvés par morsure en progressant de la base vers la pointe. On arrive ainsi à les classer en durs, demi-durs et à pointe dure. Malheureusement, la méthode est extrêmement subjective et remarquablement imprécise.

#### e) Mesure de la dureté :

Depuis une quinzaine d'années, on a essayé d'appliquer le « farinograph » de la firme Brabender (17) à la mesure de la désagrégation. Cet appareil enregistre la puissance absorbée sur l'arbre d'un moulin à noix recevant une masse déterminée de malt grossièrement préconcassé. L'appréciation résulte du dépouillement du diagramme obtenu. Celui-ci comporte des oscillations d'amplitude plus ou moins grande s'étalant sur un intervalle de temps variable.

L'ordonnée moyenne des oscillations renseigne sur la dureté. Les différences relevées sont relativement faibles.

Enders (18) trouve une bonne relation entre l'indice Hartong notamment et les résultats obtenus avec cet appareil.

Singruen (19) signale que le rapport entre la dureté et les qualités des produits de dédoublement trouvés dans le malt changent selon la variété.

L'utilisation d'un moulin pour mesurer la dureté d'un produit paraît séduisante à première vue.

Cependant, à l'effort nécessaire pour vaincre la cohésion de l'amande, — qui représente le véritable état de la désagrégation —, vient s'ajouter un effort important de frottement des particules entre elles. De plus, il est à peu près certain que la dureté des écorces est très variable suivant les variétés, les régions d'origine et les façons culturales. Or, la dureté des écorces finement broyées intervient dans le chiffre global.

En outre, l'humidité doit intervenir également dans une certaine mesure en augmentant les efforts de frottement d'une façon variable suivant son taux.

Enfin, la régularité du lot échappe totalement au contrôle. L'appareil ne permet de déterminer que la dureté moyenne de l'échantillon. Or, à notre sens, un facteur essentiel dans la détermination de la qualité d'un malt est justement l'homogénéité du lot. En effet, la même dureté peut être obtenue avec des grains très homogènes ayant chacun la même résistance partielle, ou avec des grains provenant du mélange de malts très tendres et de malts très durs.

\*\*

## APPRÉCIATION OBJECTIVE DE LA DÉSAGRÉGATION

### A — VALEUR MOYENNE ET HOMOGENEITE

D'après tout ce qui précède, nous voyons que la désagrégation est un phénomène complexe. Chacune des méthodes étudiées pour l'apprécier ne s'adresse qu'à un aspect partiel seulement du phénomène.

Les contrôles analytiques fondés sur les comparaisons d'extraits ne visent que les matières solubilisées et sont en partie influencés par la richesse diastasique.

(17) *Schweizer Brauerei Rundschau*, 1938, n° 10, p. 169.

(18) *Woch. f. Brauerei*, 1939, n° 56, p. 309, 1940, n° 57, p. 205 et 281.

(19) *Modern Brewer*, mai 1939, p. 39.

L'examen du contenu protéique ne permet pas de se faire une image exacte de la désagrégation. Les phénomènes de resynthèse au cours de la germination entachent les résultats d'erreurs ; de plus, les influences variétales, régionales et culturelles, ainsi que les procédés de germination apportent des altérations sensibles dans les rapports entre les diverses qualités de protéines.

La mesure de la viscosité est peu sensible et ne vise surtout que la désagrégation des gommes.

Quant aux méthodes physiques et mécaniques, elles sont en général, beaucoup trop subjectives ou ne contrôlent qu'un aspect du problème.

Nous pensons que le seul moyen d'apprécier objectivement, à la fois tous les caractères concourant à la désagrégation, est de mesurer la cohésion de l'amande. En effet, nous avons vu au début de notre exposé que l'action conjuguée de la cytase et des enzymes dégradants les matières protéiques, pectiques et gommeuses confère au grain de malt une certaine friabilité. La cohésion de l'amande diminue au fur et à mesure que progresse la germination, mais tous les phénomènes ne sont pas obligatoirement simultanés. Il est intéressant de connaître le résultat de l'état d'avancement des diverses dégradations. Plus la désagrégation est poussée, plus le grain est friable. Les différentes méthodes de germination conduisent à favoriser certaines dégradations au détriment d'autres. Les variétés ne sont pas toutes aussi faciles à désagréger. Les conditions climatiques, régionales et les façons culturales agissent également sur la plus ou moins grande facilité de désagrégation.

Si le maltteur disposait d'un appareil lui permettant de contrôler l'état d'avancement et la régularité de la désagrégation, il aurait la possibilité de régler sa fabrication pour obtenir la dégradation plus poussée et la plus régulière possible.

## B — PRINCIPE DE L'APPAREIL PROPOSE

Nous avons cherché à réaliser un dispositif permettant de repérer la cohésion de l'amande en dehors de tout facteur extérieur et sur chaque grain pris individuellement dans un échantillon.

Des essais préliminaires nous ont permis de nous rendre compte des différences considérables existant dans la cohésion de l'amande des grains de malt.

Nous avons disposé successivement des grains dans une alvéole en plomb. Sur chaque grain, était posé un coin en acier de 0,8 mm. d'épaisseur, grossièrement affûté et solidaire d'un plateau sur lequel nous plaçons une charge progressivement croissante. La lame avait un profil copiant celui du grain dans le sens base-pointe. L'alvéole était fendue pour permettre le libre passage de la lame après éclatement de l'amande.

Au fur et à mesure de l'accroissement de la charge, l'écorce est d'abord coupée, puis le coin pénètre sensiblement de 0,5 à 1 mm. dans l'amande, et enfin, brusquement, le grain éclate. Nous avons donc bien là un moyen de contrôler la cohésion par la résistance limite à l'éclatement. *Nous insistons, en effet, sur le fait très important que l'amande n'est pas coupée, mais éclatée après sectionnement des enveloppes dont l'influence est ainsi totalement supprimée.*

La charge de rupture s'échelonne sensiblement entre 500 grammes pour les grains les plus friables et 5.000 grammes pour les grains entièrement glacés. Entre ces deux extrêmes, nous avons relevé toute la gamme possible des charges intermédiaires.

La sensibilité de la méthode est donc considérable et nous avons pensé qu'elle serait le moyen le plus précis à notre disposition pour apprécier de faibles différences de désagrégation.

Craignant que la présence du sillon n'offre une zone de moindre résistance, nous nous sommes livrés à de multiples essais qui nous ont prouvé qu'il n'en était rien. Ce phénomène s'explique d'ailleurs par le fait que la lame ne pénètre que très peu dans la masse du grain avant d'en provoquer l'éclatement. Celui-ci se fait, non pas par arrachement progressif, mais brutalement lorsque l'effort de rupture est atteint.

De même, l'humidité n'a pas d'influence sur le résultat, au moins dans le domaine 2 à 9 %, ce qui peut, à première vue, paraître étonnant car, à la dent, l'impression est nettement différente entre un grain de malt sec et le même réhumidifié. Nous donnerons d'ailleurs plus loin des résultats de mesures effectuées avec notre appareil et qui confirment bien ce fait.

Enfin, nous avons pensé qu'en mesurant la cohésion individuelle de grains prélevés dans une masse, on doit parvenir à contrôler l'homogénéité du lot.

Notre appareil permet bien une appréciation objective de la désagrégation mécanique. Il en chiffre la valeur moyenne et en contrôle la régularité.

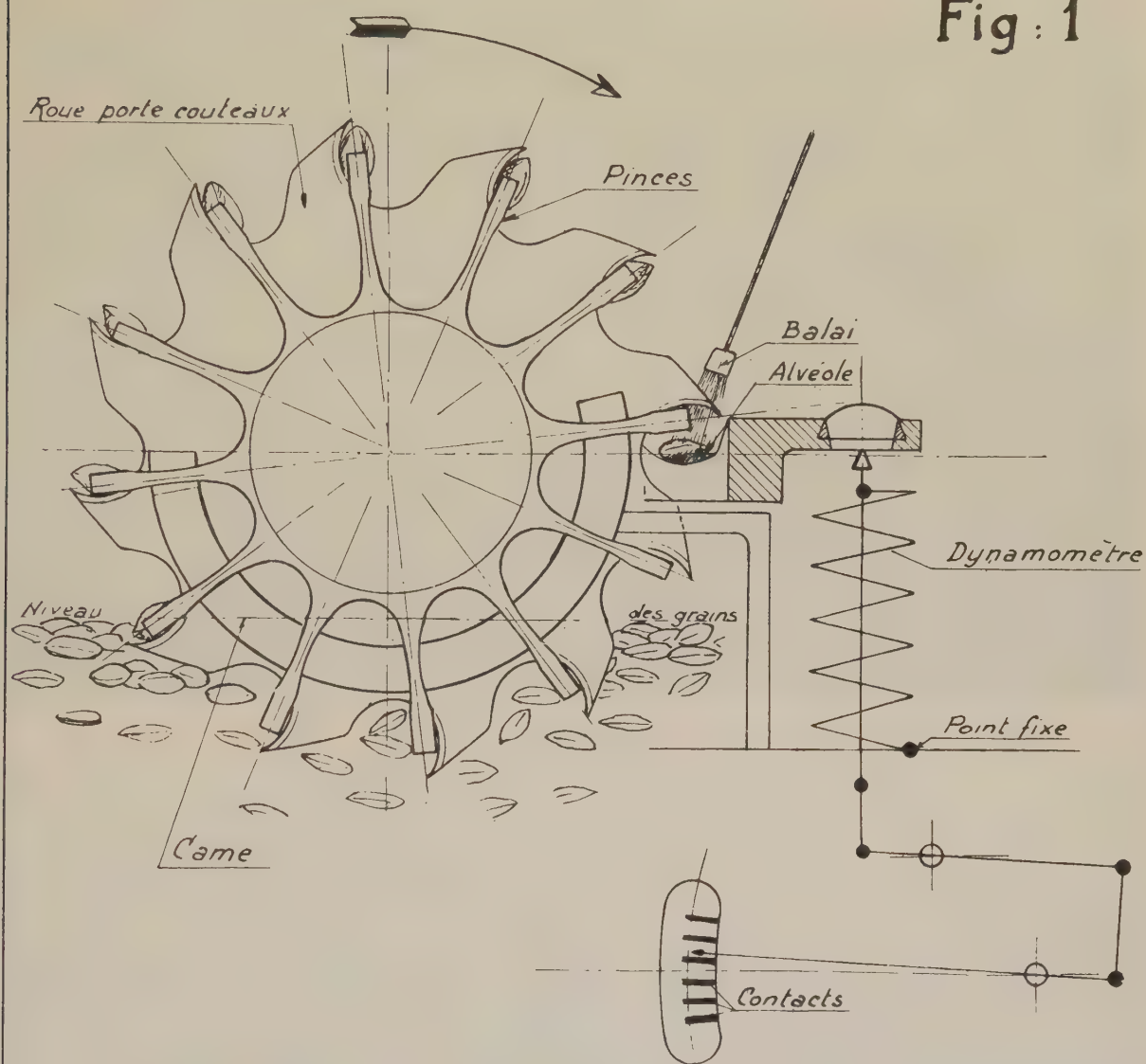
L'appareil que nous avons imaginé a été dénommé « Scléromètre » puisqu'il est destiné à mesurer la dureté des grains.

## C — DESCRIPTION

Un disque en acier « rapide » de 0,8 mm. d'épaisseur et de 100 mm. de diamètre porte douze dents affûtées en forme de coin et dont le profil épouse approximativement la forme de la méridienne d'un grain (fig. 1).

De part et d'autre de ce disque et au niveau de chacune des dents, des lames formant ressorts constituent une sorte de pince.

Fig : 1



# APPAREIL A APPRECIER LA DURETE DES GRAINS

Schema de principe

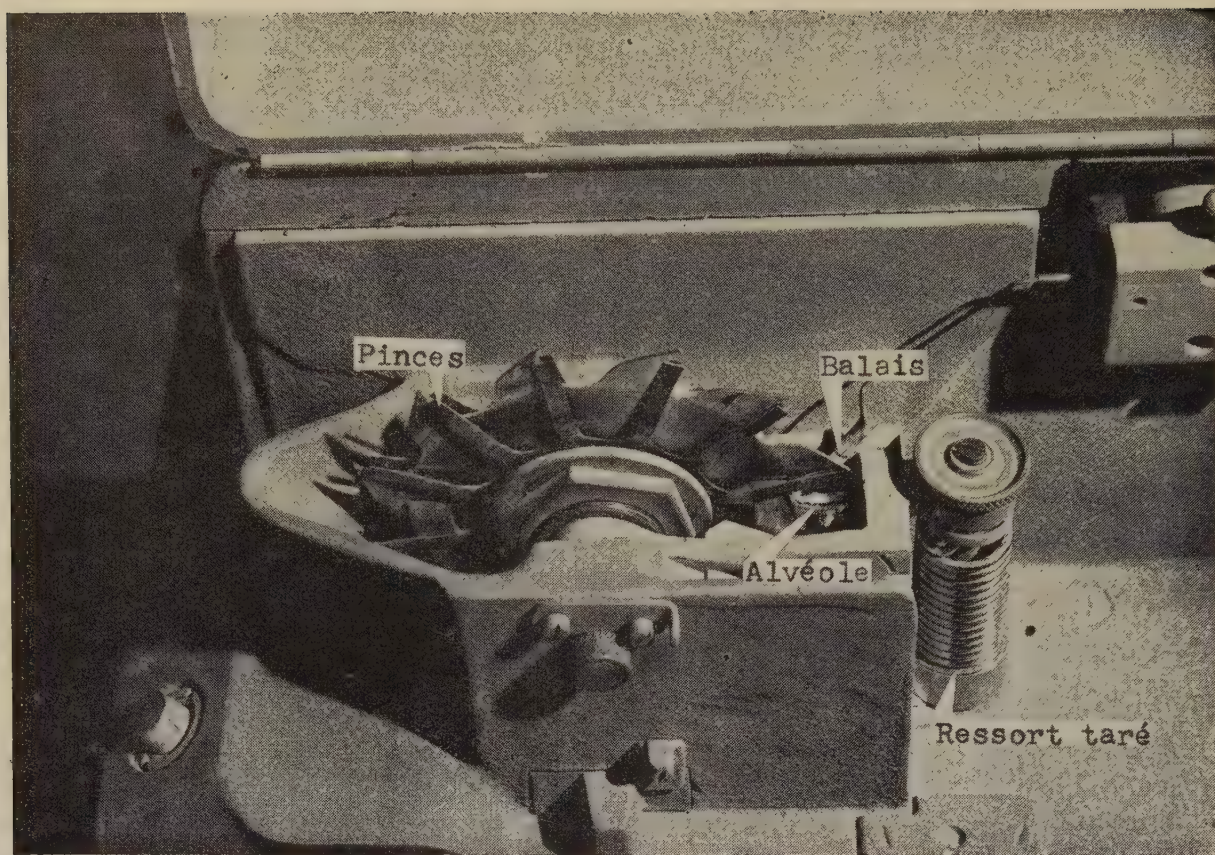


FIG. 2. — Roue dentée et ressort taré

L'ensemble, entraîné par un moteur électrique tourne dans un plan vertical à une vitesse d'environ deux tours à la minute. La partie inférieure du disque plonge dans une augette contenant l'échantillon à examiner (fig. 2).

Pendant ce parcours, une came fixe écarte les pinces d'une quantité juste suffisante pour permettre le passage d'un grain. Elle les libère sensiblement à l'horizontale. Le grain logé dans chaque pince se trouve serré et maintenu pendant tout le parcours supérieur (fig. 1).

Il est libéré par l'action de la came, quelques millimètres avant d'arriver à une alvéole épousant également la forme du grain et solidaire d'un ressort taré. Le grain y tombe librement, s'oriente et y subit la poussée progressivement croissante de la dent ; le ressort s'écrase jusqu'au moment où l'effort nécessaire pour provoquer l'éclatement est atteint. L'alvéole présente une saignée laissant passer les dents du disque.

Un dispositif électrique (fig. 3) permet de repérer pour chaque grain traité, le degré de fléchissement du ressort. Il est réalisé de la façon suivante :

Cinq contacts (fig. 4), atteints successivement pendant l'écrasement du ressort, envoient des impulsions dans cinq relais correspondants (fig. 5).

Chaque relai ayant été excité est maintenu en attraction par un bobinage auxiliaire dont l'alimentation est assurée par le contact « repos » du suivant. De ce fait au fur et à mesure de leur mise sous tension, les relais déverrouillent automatiquement ceux qui les précèdent. Seul le dernier ayant reçu une impulsion demeure sous tension.

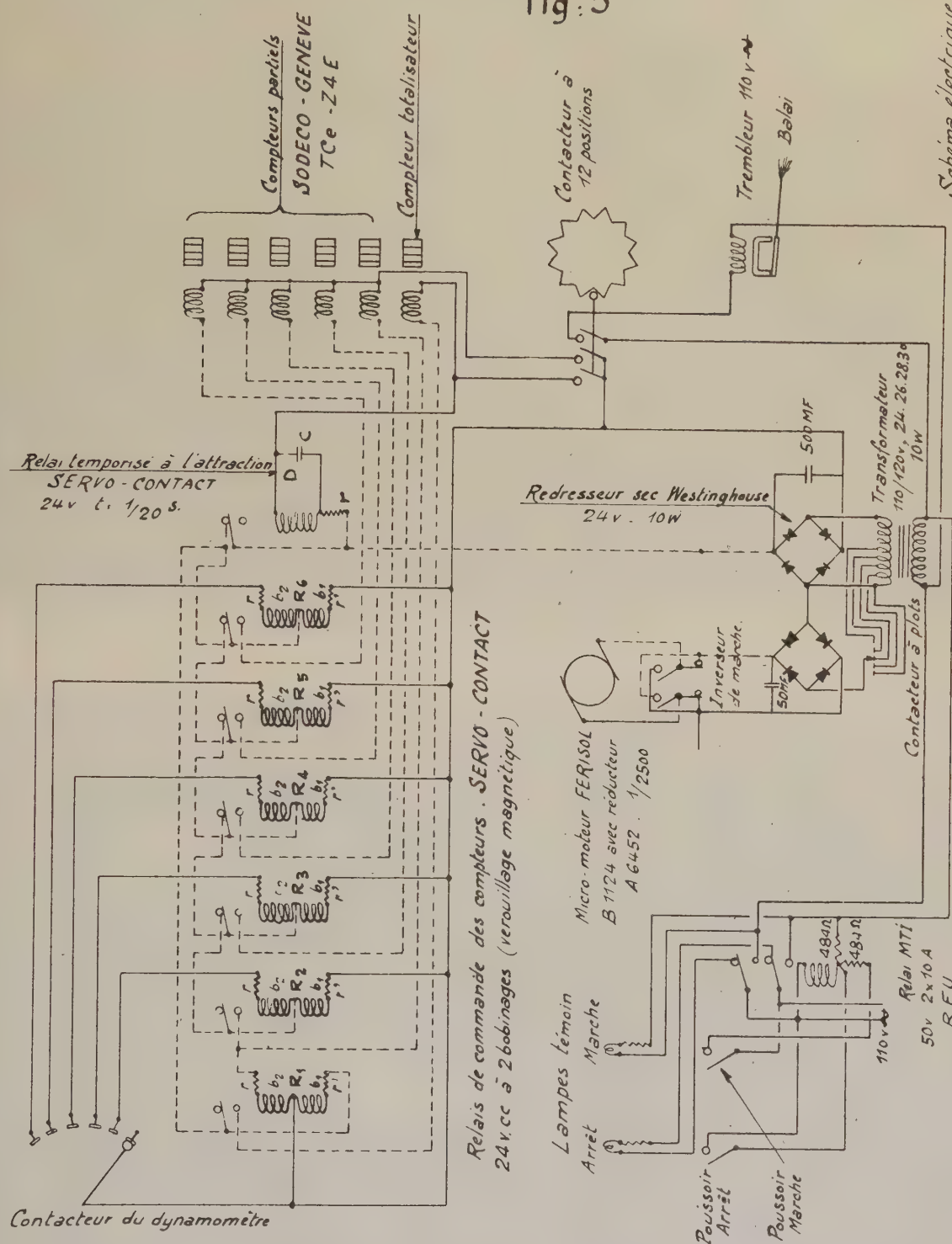
Cinq compteurs d'impulsion (fig. 6) sont reliés respectivement à chacun des cinq relais. Après éclatement du grain, un contact auxiliaire, commandé par l'arbre porte-disque, ferme le circuit électrique sur le fil commun aux cinq compteurs, parmi lesquels seul celui qui correspond au relai verrouillé enregistre une unité.

Cet ensemble est complété par un compteur totalisateur qui inscrit le nombre de grains traités.

Enfin, un relai auxiliaire temporisé remet automatiquement au repos l'ensemble des relais après inscription. Le dispositif se trouve ainsi prêt à enregistrer la dureté du grain suivant.

Fig. 3

Schema électrique



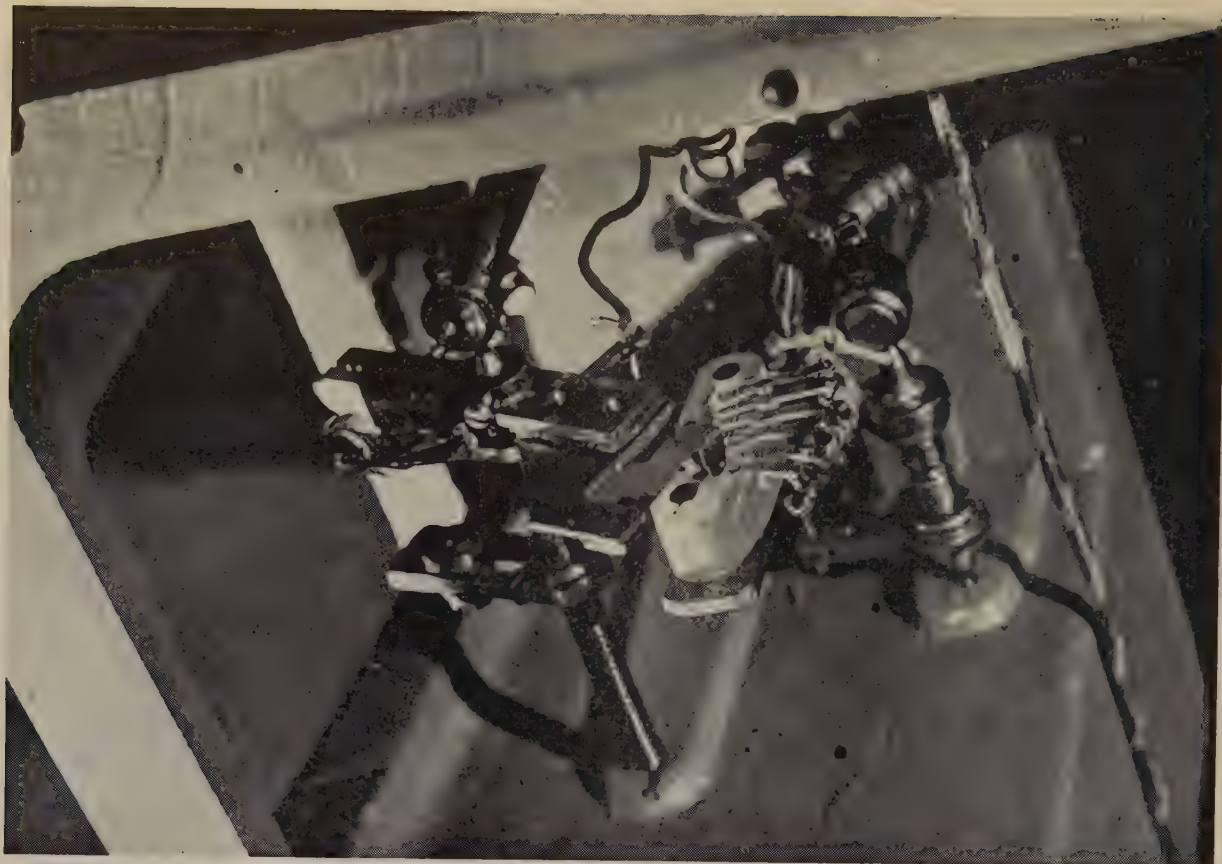


FIG. 4. — Contacts du dynamomètre

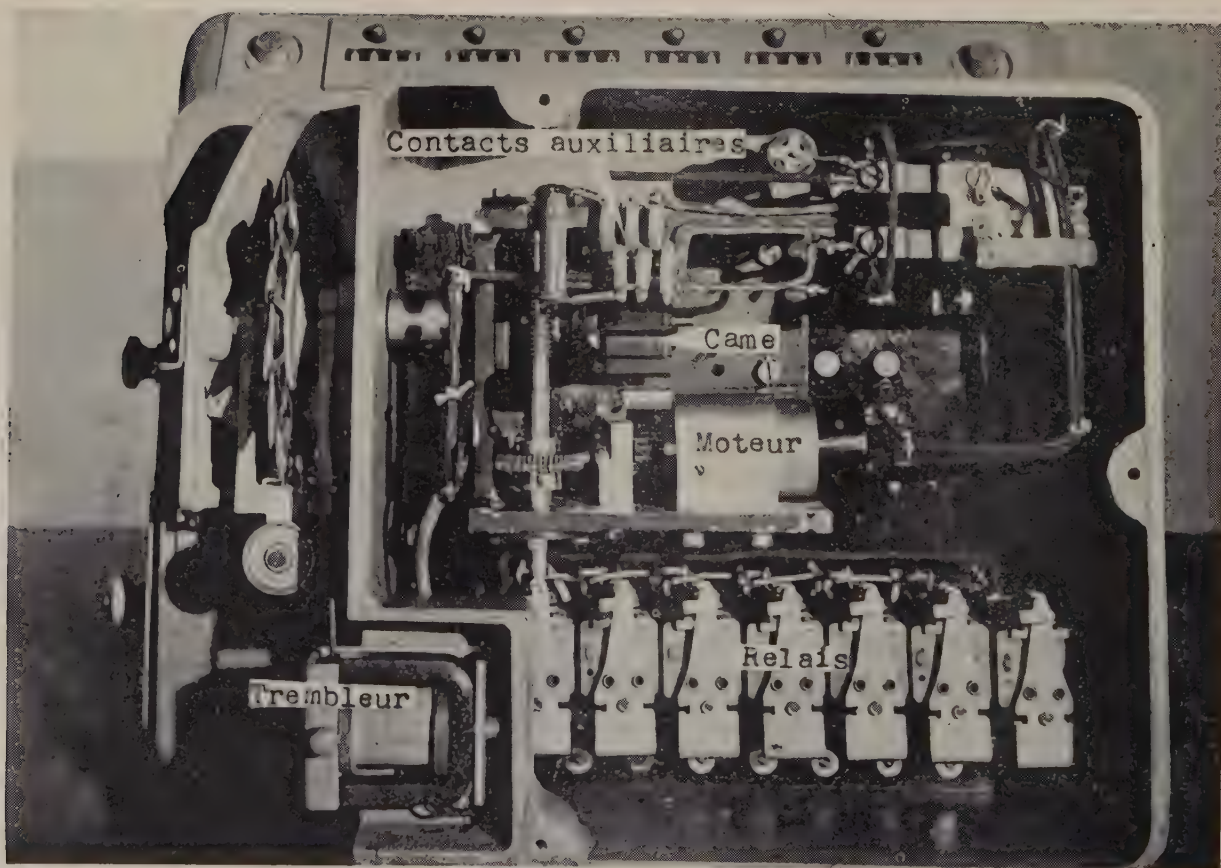


FIG. 5. — Intérieur côté moteur

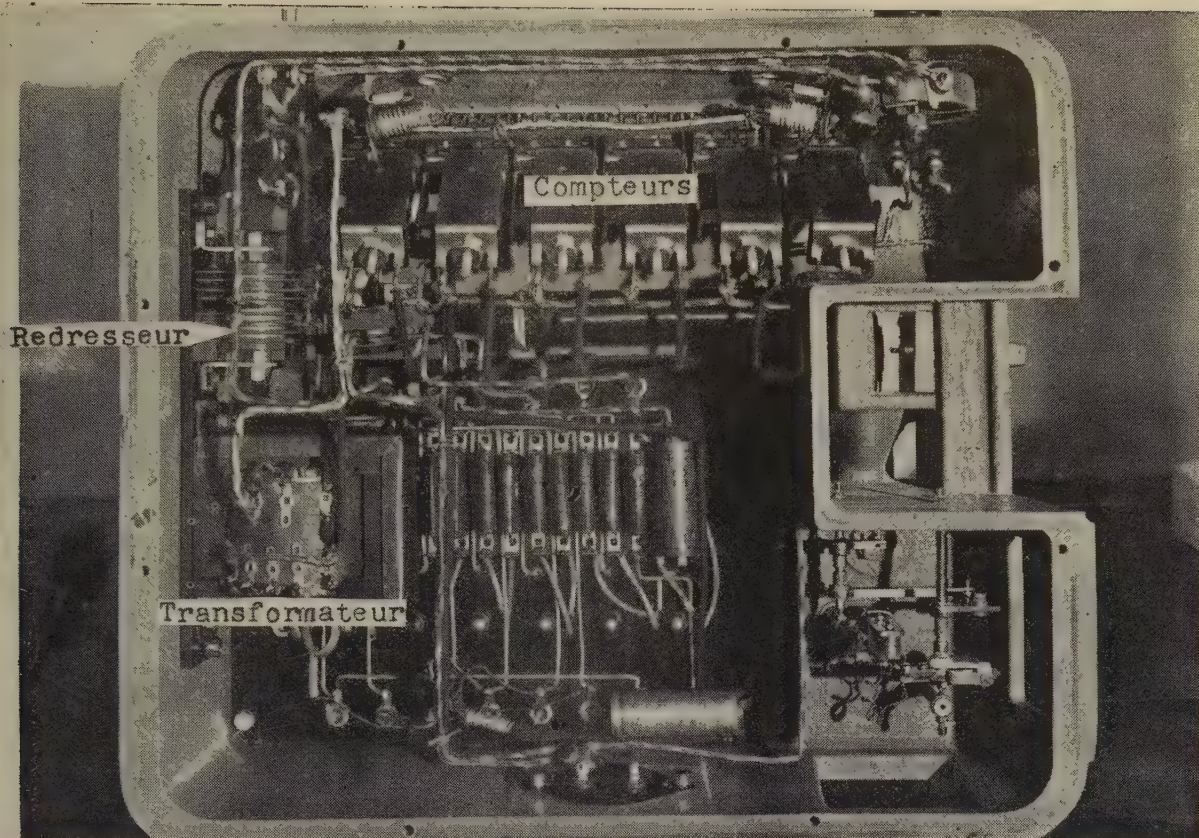


FIG. 6. — Intérieur vu dessous

Tout cet ensemble est alimenté en courant continu de 24 volts obtenu par un redresseur séléno-fer et convenablement filtré. La vitesse de réponse des relais atteint ainsi  $1/50^{\circ}$  de seconde. Une telle rapidité est indispensable. En effet, le disque de 100 mm. de diamètre tourne à raison de deux tours à la minute. Les dents progressent d'environ 628 mm. en 60 secondes. Or, les trois millimètres de déplacement du ressort correspondent à 2,1 mm. au niveau de l'alvéole en raison du rapport des bras du levier. Cette distance est donc parcourue en 0,2 seconde. Les cinq zones précédemment définies sont divisées en dix tranches d'égale longueur constituées par une succession de lames métalliques séparées par des intervalles isolants. Chaque contact représente ainsi le  $1/10^{\circ}$  de la course totale. Il s'en suit que la vitesse de réponse des relais doit donc bien être au moins égale à 0,02 seconde.

Afin d'éviter une fatigue excessive du ressort taré, constitué par une double spirale en fil d'acier ayant sensiblement 40 mm. de longueur totale, sa course maximum a été limitée à 3 mm. Pour obtenir une précision suffisante dans la mesure, ce faible déplacement est amplifié environ sept fois par un système de bras de levier entraînant une roulette d'argent qui se déplace sur cinq contacts noyés dans un bloc isolant. La position relative de ce bloc par rapport à la roulette est réglable afin de permettre la correction du zéro. De plus il est également prévu de pouvoir agir sur le rapport d'amplification, ce qui permet d'étalonner l'appareil indépendamment des imperfections des ressorts. Le contrôle s'effectue en appliquant sur l'alvéole un effort connu, à l'aide de poids.

Grâce à cet ensemble, chaque compteur dénombre les grains dont la cohésion est comprise à l'intérieur de chacune des cinq zones, pour un échantillon dont le totalisateur indique l'importance.

Lorsque la dent ayant provoqué l'éclatement d'un grain dégage l'alvéole, un trembleur électrique actionnant un balai, évacue les résidus (fig. 5 et 7).

Le nettoyage de la cuvette contenant l'échantillon et l'élimination des grains en excès se fait très simplement en dégageant un obturateur placé sur le côté.

Tout l'appareillage électrique (contacts, relais, compteurs, moteurs, etc...) est placé dans un boîtier étanche à la poussière.

Le disque denté et le ressort taré sont très facilement démontables. On peut ainsi transformer rapidement l'appareil pour lui permettre de traiter d'autres grains que le malt (l'orge, le blé, etc...).

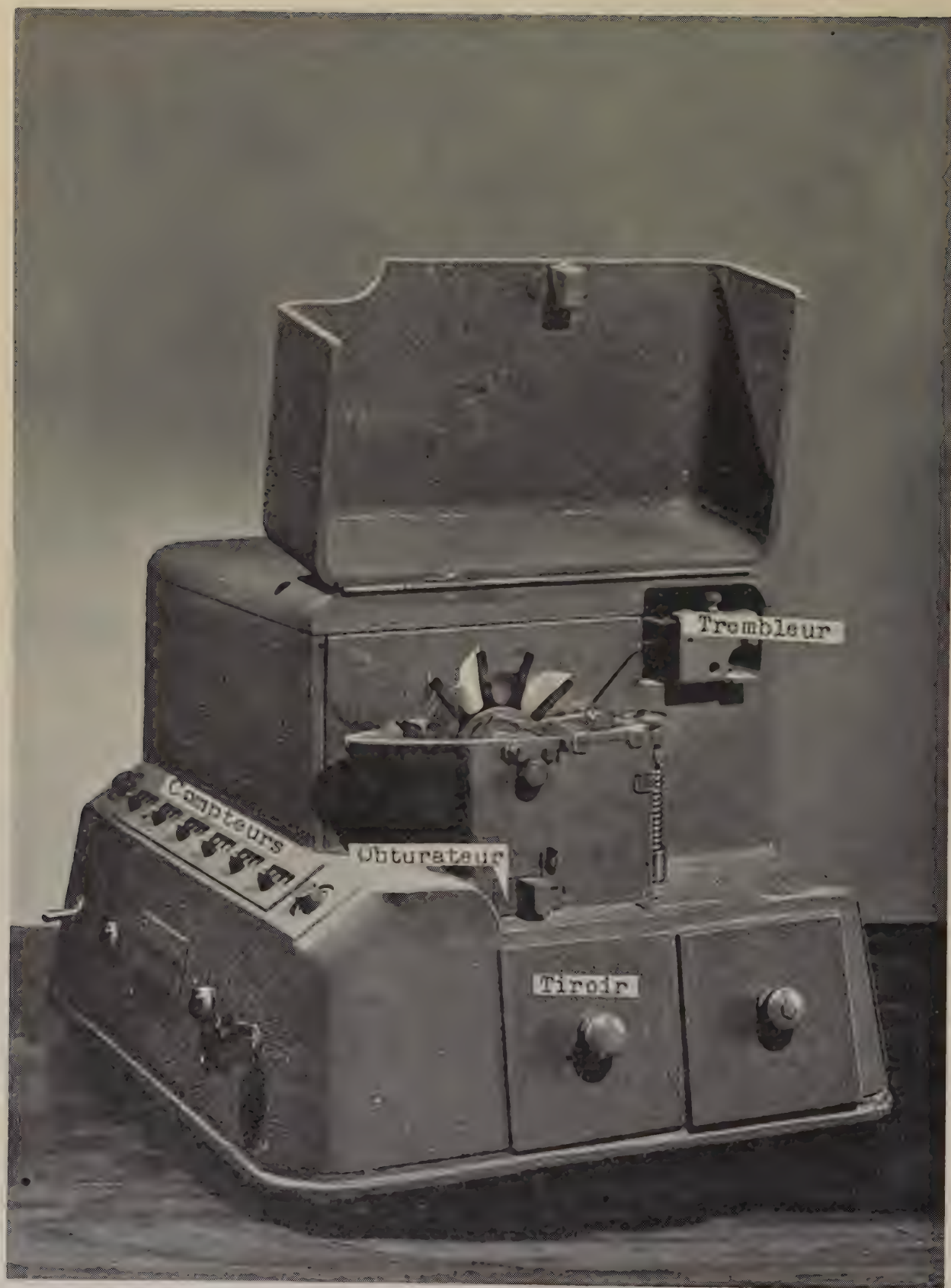


FIG. 7. — Vue générale, capot ouvert

## D — ETALONNAGE DE L'APPAREIL

Nous avons expérimentalement déterminé l'échelle optimum permettant d'obtenir une répartition correcte à l'intérieur des cinq zones. Nous avons tenu compte de la dureté moyenne des grains de malt provenant d'un grand nombre d'échantillons de diverses provenances.

Nous avons obtenu les chiffres suivants :

le premier compteur est actionné entre 570 g. et 1.495 g. ;  
 le deuxième compteur est actionné entre 1.495 g. et 2.420 g. ;  
 le troisième compteur est actionné entre 2.420 g. et 3.345 g. ;  
 le quatrième compteur est actionné entre 3.345 g. et 4.270 g. ;  
 le cinquième compteur est actionné au delà de 4.270 gr.

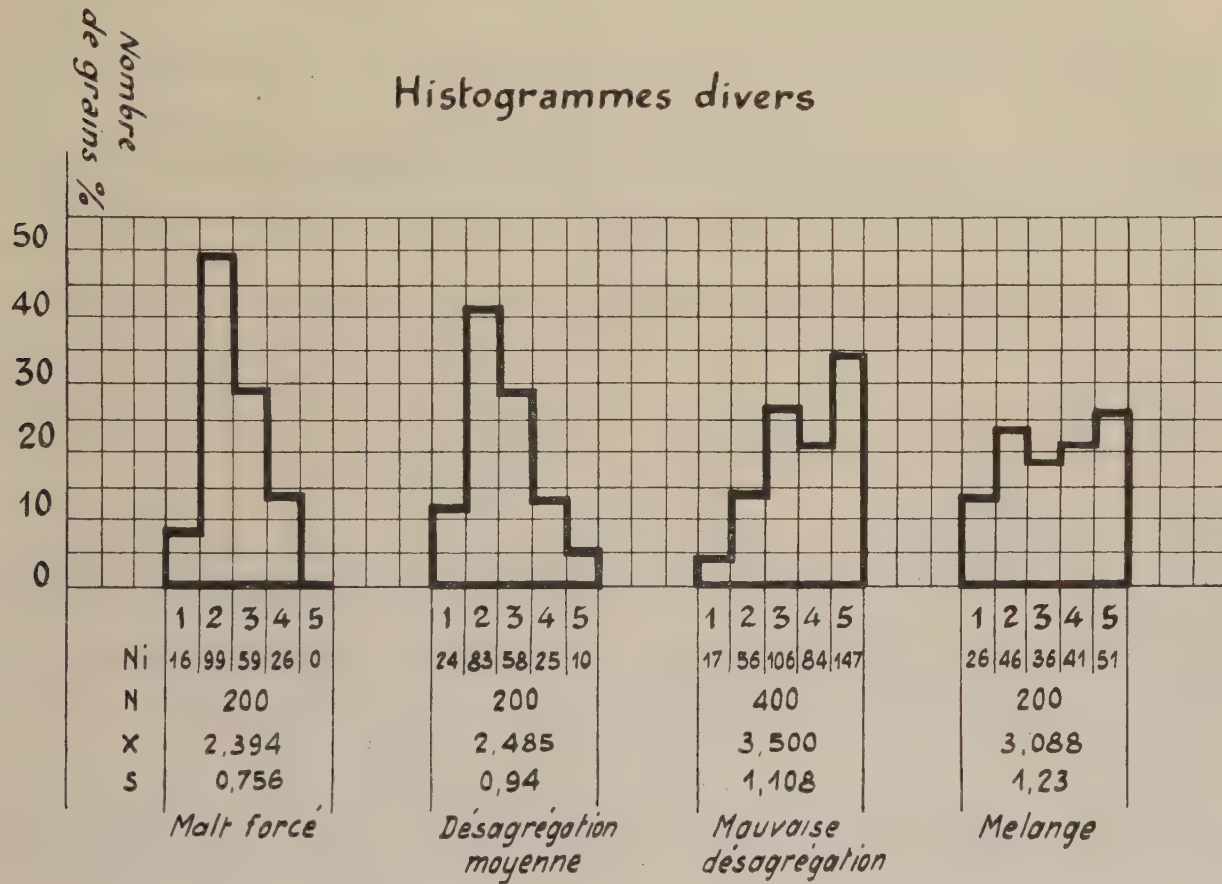


Fig : 8

Il y a donc un décalage de 925 grammes entre chacune des zones.

Les indications moyennes de chaque compteur sont :

$$\begin{aligned}
 \text{compteur n° 1} & \quad 570 + \frac{1.495 - 570}{2} = 1.032,5 \text{ soit sensiblement } 1.030, \\
 \text{» n° 2} & \quad 1.495 + \frac{2.420 - 1.495}{2} = 1.957,2 \quad \text{»} \quad \text{»} \quad 1.955, \\
 \text{» n° 3} & \quad 2.420 + \frac{3.345 - 2.420}{2} = 2.882,5 \quad \text{»} \quad \text{»} \quad 2.880,
 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{rclclcl}
& & 4.270 - 3.345 & & & & \\
\gg & n^{\circ} 4 & 3.345 + \frac{2}{2} & = & 3.807,5 & \gg & 3.805, \\
& & 5.195 - 4.270 & & & & \\
\gg & n^{\circ} 5 & 4.270 + \frac{2}{2} & = & 4.732,5 & \gg & 4.730.
\end{array}$$

Si nous appelons  $n_1, n_2, n_3, n_4, n_5$  le nombre de grains indiqué par chacun des compteurs partiels et  $n$  le nombre total de grains traités ( $n = n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5$ ) la dureté moyenne indiquée en grammes par grain est de :

$$\frac{n_1 \cdot 1030 + n_2 \cdot 1955 + n_3 \cdot 2880 + n_4 \cdot 3805 + n_5 \cdot 4730}{n}$$

La courbe de répartition est établie en rapportant chacune des indications à 100 grains traités. Les chiffres inscrits sur chaque compteur sont portés en ordonnée d'un système de deux axes rectangulaires dont l'abscisse représente les cinq zones correspondantes.

Un histogramme présentant un fort maximum à gauche correspond à un échantillon tendre et, inversement, un fort maximum à droite, à un échantillon dur ; un graphique ne possédant pas de maximum marqué sera représentatif d'un échantillon hétérogène et la présence de deux maxima sera le signe d'un mélange de deux grains de dureté très différente (fig. 8).

## E — INTERPRETATION MATHEMATIQUE DES RESULTATS ETUDE STATISTIQUE

Il est intéressant de savoir quelle précision il est possible d'atteindre avec l'appareil et d'essayer de chiffrer la dispersion représentée par les graphiques ; en effet, le simple examen de ceux-ci ne permet pas de se faire une image objective de l'homogénéité des échantillons traités.

Pour cette étude nous ferons appel aux méthodes de calculs statistiques.

### a) Grandeur de l'échantillon :

Le premier problème à résoudre, consiste à déterminer la grandeur de l'échantillon nécessaire pour obtenir la dureté moyenne avec une précision connue. C'est un problème classique de la théorie statistique de l'échantillonnage.

Nous indiquons ici les notations utilisées :

Etant donné un échantillon de  $n$  grains, les indications de chacun des compteurs sont :  $n_1, n_2, \dots, n_5$ . Nous désignons par  $x_1, x_2, \dots, x_5$  les duretés moyennes correspondantes.

On peut en déduire la dureté moyenne de l'échantillon :

$$X = \frac{\sum n_i x_i}{n}$$

La répartition de la dureté des différents grains ne correspond pas nécessairement à une distribution normale mais il est possible néanmoins de définir l'écart type moyen  $s$  par :

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum n_i (x_i - X)^2.$$

Etant donné la grandeur de l'échantillon il peut être confondu avec :

$$s^2 = \frac{\sum n_i (x_i - X)^2}{n}$$

Ces définitions une fois posées, le problème qui nous intéresse est la distribution des valeurs de la dureté moyenne  $X$  d'un grand nombre d'échantillons de même importance  $n$  prélevés sur un lot.

Les théories statistiques prévoient qu'une telle distribution s'approche d'autant plus de la distribution normale que l'échantillon est plus important. L'écart type  $\sigma$  a pour valeur :

$$\sigma = \frac{s}{\sqrt{n}},$$

$s$  étant l'écart type précédemment défini relatif à chacun des échantillons.

Cette propriété nous fournit la solution du problème.

Considérons par exemple le lot  $C_4M_1$  de la variété Aurore :

$n = 200$

$n_1 = 19$

$n_2 = 77$

$n_3 = 57$

$n_4 = 29$

$n_5 = 18,$

dureté moyenne  $X = 2,649$  kg/grain,

écart type moyen  $s = 1,016$ .

La valeur de l'écart type pour la dureté est :

$$\sigma = \frac{s}{\sqrt{200}} = 0,072$$

On sait par ailleurs que l'on a une probabilité de 95 chances sur 100 de ne pas dépasser un écart égal à 1,96 fois l'écart type dans un sens ou dans l'autre. Dans le langage de la statistique on considère comme *significatif* un écart égal ou plus grand que 1,96 fois l'écart type  $\sigma$ . Cela signifie seulement que, pour un même lot, 95 déterminations sur 100, en moyenne, conduiront à un écart inférieur à cette valeur. En conséquence, bien qu'il soit possible d'observer un écart supérieur, cet événement est suffisamment rare pour que l'observateur se pose la question : est-il vraiment fortuit ? ou bien n'est-il pas survenu une modification des conditions expérimentales qui rende plus grande la probabilité de l'observer ?

On doit donc avoir pratiquement de ce fait :

X lot — 1,96 . 0,072 < échantillon < X lot + 1,96 . 0,072, soit un écart maximum de 0,14.

La précision est donc de :

$$\frac{0,14}{2,649} \text{ soit environ } 0,05 \text{ ou } 5 \%$$

*Remarque :* le même calcul nous permet de déterminer l'importance de l'échantillon à prélever pour avoir la quasi certitude d'un résultat à moins de 1 % près, c'est-à-dire avec un écart maximum d'environ 0,0265.

En prenant comme seuil de signification une probabilité de 0,05 cet écart correspond à un écart type de :

$$\frac{0,0265}{1,96} = 0,0135$$

La grandeur de l'échantillon  $n$  est alors déterminée par :

$$\sigma = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$\text{soit } n = \left( \frac{1,016}{0,0135} \right)^2 = 5\,664 \text{ grains.}$$

Un léger accroissement de précision exigerait donc des prélèvements très importants. Ces résultats nous ont conduit à limiter notre échantillonnage à 200 grains et la pratique a confirmé pleinement ce choix.

## b) Différenciation entre deux échantillons :

La détermination de l'écart type sur X permet d'apprécier si la différence de dureté constatée entre deux échantillons est ou non significative. Cela signifie que, étant donné les résultats de la mesure de la dureté sur deux échantillons, deux jugements sont possibles :

1) La différence entre les duretés tombe à l'intérieur des limites de dispersion que l'on peut attendre pour des échantillons prélevés dans un même lot ;

2) la différence est supérieure à ces limites ; la cause en est vraisemblablement dans un échantillonnage incorrect ou une différence entre les deux lots.

*Résultats expérimentaux :* pour vérifier ces résultats dans un certain nombre de cas nous avons opéré successivement sur deux échantillons identiques d'un même lot et avons considéré la différence entre les résultats obtenus pour la dureté.

Le calcul statistique montre que si les valeurs de la dureté sont distribuées avec un écart type  $\sigma$ , la différence entre deux déterminations prises au hasard, doit être distribuée normalement avec l'écart type  $\sigma \sqrt{2}$ .

Voici deux exemples parmi les résultats obtenus :

$$\begin{array}{lllllll} 1^\circ & X = 2,302 & n_1 = 33 & n_2 = 90 & n_3 = 53 & n_4 = 17 & n_5 = 7 & n = 200, \\ & X' = 2,282 & n_1 = 32 & n_2 = 91 & n_3 = 53 & n_4 = 18 & n_5 = 6 & n = 200, \\ & \sigma = 0,063, \end{array}$$

$$\frac{X - X'}{\sigma \sqrt{2}} = \frac{0,020}{0,0891} \text{ soit } 0,224$$

ce qui n'est pas *significatif* (nettement plus faible que 1,96).

$$\begin{array}{lllllll} 2^\circ & X = 2,787 & n_1 = 12 & n_2 = 61 & n_3 = 77 & n_4 = 35 & n_5 = 15 & n = 200, \\ & X' = 2,515 & n_1 = 20 & n_2 = 79 & n_3 = 67 & n_4 = 28 & n_5 = 6 & n = 200, \\ & \sigma = 0,0645, \end{array}$$

$$\frac{X - X'}{\sigma \sqrt{2}} = \frac{0,272}{0,915} \text{ soit } 2,98$$

ce qui est *significatif* (nettement plus fort que 1,96).

Dans le premier cas, les deux échantillons ont de fortes chances de provenir d'un lot de mêmes caractéristiques alors que dans le second rien ne nous permet d'affirmer qu'ils proviennent du même lot.

### c) Etude de la dispersion :

L'étude précédente fait jouer un rôle à l'écart type moyen déterminé expérimentalement sur un échantillon. Pour un grand nombre d'échantillons de même importance, tirés d'un même lot, ces écarts suivent une distribution qui tend vers la distribution normale si  $n$  est grand. L'écart type tend vers :  $\frac{s}{\sqrt{2}}$ ,  $s$  étant

l'écart type précédemment défini sur la dureté moyenne :  $\frac{s}{\sqrt{n}}$ .

Il apparaît ainsi que  $s$  est défini avec une précision comparable à celle de la dureté ; nous avons ainsi été conduit à attacher une attention particulière à cette grandeur qui définit l'homogénéité du lot.

Reprenons un des exemples précédents :

|                                            |               |
|--------------------------------------------|---------------|
| pour un premier échantillon de 200 grains  | $X = 2,302$   |
|                                            | $s = 0,899$ , |
| pour un deuxième échantillon de 200 grains | $X' = 2,282$  |
|                                            | $s' = 0,883$  |

L'écart type  $\sigma$  relatif à la distribution des duretés moyennes, calculé pour l'ensemble des deux échantillons est :

$$\sigma = 0,063$$

Or, d'après ce que nous venons de voir, l'écart type pour  $s$  a pour valeur  $\frac{\sigma}{\sqrt{2}}$ . Si nous considérons la différence  $s - s'$ , elle est distribuée normalement avec un écart type plus grand que l'écart type relatif, le rapport étant  $\sqrt{2}$  (voir calculs de la détermination de l'écart type sur  $X - X'$ ). Nous avons donc un écart type de :

$$\frac{\sigma}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{2} = \sigma$$

Le rapport  $\frac{s - s'}{\sigma} = \frac{0,016}{0,063} = 0,254$  n'est pas significatif, de telle sorte qu'il n'y a pas lieu de considérer les échantillons comme différents.

### d) Détermination d'un coefficient de dispersion :

L'écart type moyen  $s$  d'un échantillon se révèle une valeur d'appréciation très intéressante :

En effet, la valeur  $s$  croît en fonction de la dispersion entre 0, lorsque les grains sont tous rassemblés sur un seul compteur, et 1,85, lorsqu'ils sont dispersés en quantités égales entre les deux compteurs extrêmes 1 et 5. Il s'ensuit que  $s$  permet de chiffrer d'une façon très satisfaisante le *degré d'homogénéité d'un lot*.

D'après les nombreux résultats que nous possédons, portant sur plus de 300 essais, il semble que l'on puisse ainsi classer les échantillons de malt d'après les valeurs  $s$  (tout au moins pour ceux dont la dureté moyenne s'échelonne entre 2,5 et 3,5).

|                                |                              |
|--------------------------------|------------------------------|
| $s$ inférieur à 0,85           | échantillon très homogène,   |
| $s$ compris entre 0,85 et 1,00 | échantillon homogène,        |
| $s$ compris entre 1,00 et 1,20 | échantillon hétérogène,      |
| $s$ plus grand que 1,20        | échantillon très hétérogène. |

*Remarque.* — En réalité, l'écart réduit  $s$ , tel qu'il est calculé, ne conserve pas la même valeur pour toutes les duretés. En effet, il est bien évident, par exemple, que si une dureté moyenne était trouvée égale à  $X = 1,03$  kg (limite inférieure des indications de l'appareil), tous les grains figureraient nécessairement sur le premier compteur. Donc  $s$  serait égal à 0. On aurait de même  $s = 0$  pour  $X = 4,73$ . Il y a donc une certaine corrélation entre  $s$  et  $X$ .

Nous allons chercher à obtenir quelques renseignements sur cette corrélation par le raisonnement suivant :

Le nombre de grains étant donné pour une dureté moyenne  $X$ , la distribution des grains entre les différents compteurs est telle que :

$$\left. \begin{array}{l} n_1 x_1 + n_2 x_2 + \dots + n_s x_s = nX. \\ n_1 + n_2 + \dots + n_s = n, \text{ et} \end{array} \right\} \quad (1)$$

La probabilité d'une distribution  $(n_1, n_2 \dots n_s)$  donnée est :

$$P = \frac{n!}{n_1! \ n_2! \ \dots \ n_s!}$$

et la distribution la plus probable, compte tenu des deux conditions (1) est donnée par :

$$n_i = c.n.e^{-M \cdot x_i};$$

c'est une distribution analogue à une répartition statistique de Boltzmann.

Dans notre cas, nous admettrons, pour simplifier  $x_2 = 2x$   $x_3 = 3x$  ...  $x_5 = 5x$ .

Nous pouvons prendre  $e^{-Mx} = \theta$

La distribution la plus probable peut donc s'écrire :

$$n_1 = c.n.\theta, n_2 = c.n.\theta^2, n_3 = c.n.\theta^3, n_4 = c.n.\theta^4, \text{ et } n_5 = c.n.\theta^5$$

correspondant à  $n$  et  $\bar{X}$  donnés *a priori* si

$$c(\theta + \theta^2 + \dots + \theta^5) = 1, \text{ et}$$

$$c(\theta + 2\theta^2 + \dots + 5\theta^5) = \bar{X}.$$

$$\text{Nous voyons que } \bar{X} = \frac{\theta + \theta^2 + \dots + 5\theta^5}{\theta + \theta^2 + \dots + \theta^5} \text{ ou encore}$$

$$\bar{X} = \frac{1 + 2\theta + 3\theta^2 + 4\theta^3 + 5\theta^4}{1 + \theta + \theta^2 + \theta^3 + \theta^4} \quad (2)$$

$$\text{Nous savons en outre que : } s = \frac{1}{n} (\sum n_i x_i^2) = \bar{X}^2,$$

$$\text{Nous pouvons donc écrire : } s = \frac{1}{n} (\sum x_i^2 \theta_i) = \bar{X}^2.$$

$$\text{Ce qui donne pour les valeurs définies ci-dessus : } s = \frac{1 + 4\theta + 9\theta^2 + 16\theta^3 + 25\theta^4}{1 + \theta + \theta^2 + \theta^3 + \theta^4} = \bar{X}^2, \text{ ou encore}$$

$$s = \frac{\theta(1 + 4\theta + 10\theta^2 + 20\theta^3 + 10\theta^4 + 4\theta^5 + \theta^6)}{(1 + \theta + \theta^2 + \theta^3 + \theta^4)^2} \quad (3)$$

En donnant successivement à  $\theta$  les valeurs 0 - 0,25 - 0,5 - 0,75 - 1 - 1,5 et 2, on obtient, pour  $\bar{X}$  et  $s$  les valeurs suivantes :

| $\theta$ | $\bar{X}$ | $s^2$ | $s$   |
|----------|-----------|-------|-------|
| 0        | 1,000     | 0     | 0,000 |
| 0,25     | 1,328     | 0,42  | 0,648 |
| 0,5      | 1,84      | 1,17  | 1,08  |
| 0,75     | 2,45      | 1,8   | 1,34  |
| 1        | 3,000     | 2     | 1,41  |
| 1,5      | 3,76      | 1,64  | 1,28  |
| 2        | 4,16      | 1,17  | 1,08  |

Ce calcul nous montre que lorsque  $\theta$  tend vers 0,  $\bar{X}$  tend vers  $1 + \theta$  et  $s$  vers  $\theta$ ; par conséquent  $\frac{s^2}{\bar{X}-1}$  tend vers 1.

Il est donc légitime de considérer, pour la corrélation, une courbe en forme d'ellipse (fig. 9).

$$\left(\frac{s}{s_0}\right)^2 + \left(\frac{\bar{X}-3}{2}\right)^2 = 1.$$

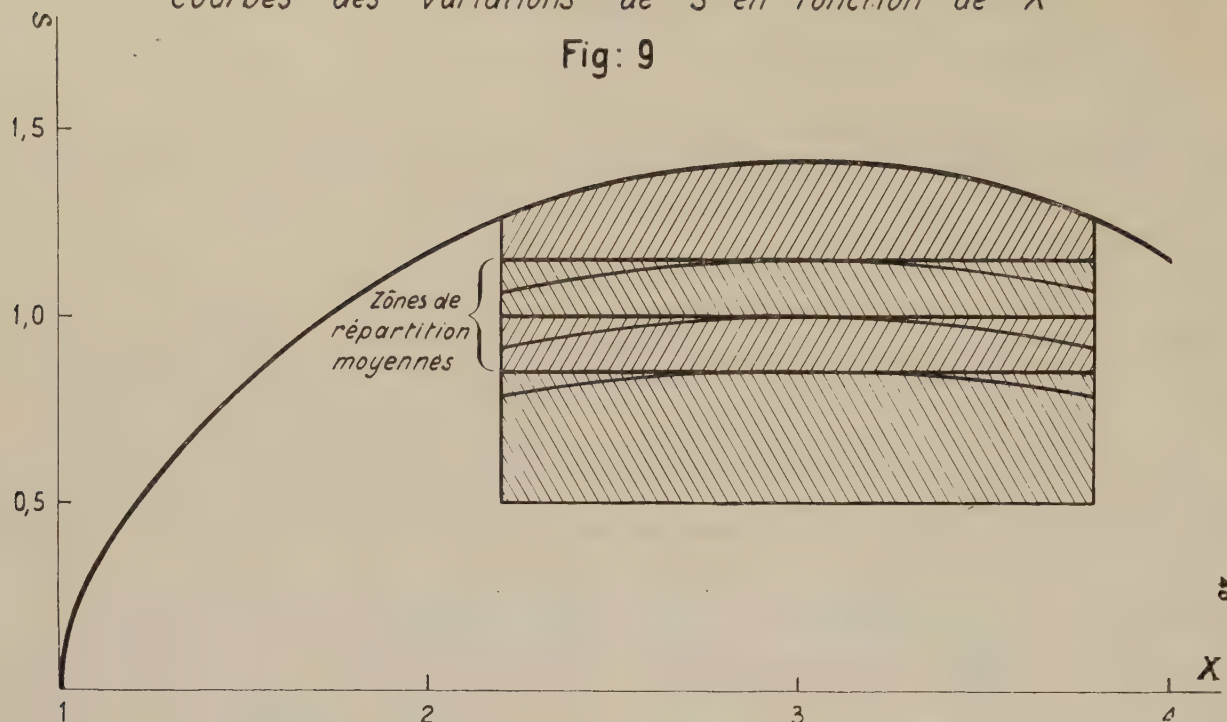
Expérimentalement, les duretés  $X$  s'échelonnent entre 2,2 et 3,8

Le rapport  $\frac{s}{s_0}$  ne sera donc jamais inférieur à 0,916. La différence qui peut en résulter n'étant pas significative :

$$\left(\frac{s-s'}{\sigma}\right) = \frac{2-1,832}{0,135} = 1,24,$$

## Courbes des variations de $s$ en fonction de $X$

Fig: 9



nous pouvons assimiler cette partie de la courbe à une droite. Les quatre gammes d'homogénéité définies plus haut peuvent donc être considérées comme valables entre les limites habituelles de dureté.

### e) Conclusion :

A la suite de cette étude statistique rapide, nous voyons qu'un échantillon de malt est parfaitement défini par les deux grandeurs :

$X$  représentant la *dureté moyenne*,

$s$  (l'écart type moyen) que nous pouvons appeler *coefficient de dispersion*.

## F — RESULTATS EXPERIMENTAUX

### a) Fidélité de l'appareil :

Nous avons porté dans le tableau I annexé, les résultats des principaux essais auxquels nous avons soumis le Scléromètre, afin de nous rendre compte de sa fidélité :

1) *en repassant plusieurs fois* dans l'appareil des échantillons d'un même lot, nous constatons que l'écart type sur la dureté n'est significatif que dans trois cas ( $C_{23} M_4$ ,  $S_{13}$  et 135 378) sur quinze essais. Les échantillons  $S_{10}$ ,  $S_{13}$  et 84, ne devraient en réalité pas figurer dans ce tableau, car ils correspondent à un essai légèrement différent, tendant à prouver qu'il se fait un classement des grains, dans une boîte soumise à des chocs répétés. Seul le résultat obtenu avec  $S_{13}$  étant significatif dans cette hypothèse, nous avons cru bon de considérer malgré tout, l'ensemble de cet essai comme valable pour le contrôle de la fidélité).

Dans l'ensemble, les résultats sont parfaitement concordants, les écarts demeurant dans les limites fixées par le calcul précédent.

2) afin de rechercher si le *positionnement* des grains dans l'alvéole pouvait avoir une influence sur les résultats, nous avons comparé les chiffres obtenus :

d'une part en disposant un à un, à l'aide d'une pince, deux cents grains dans l'alvéole, sillon en-dessous, avant le passage d'une dent,

d'autre part, en laissant l'appareil fonctionner automatiquement, avec un échantillon du même lot versé en vrac dans l'augette, c'est-à-dire dans les conditions normales d'emploi.

Les résultats concordent dans les limites fixées par l'essai précédent. On peut donc en conclure que l'appareil dispose correctement les grains dans l'alvéole, lorsqu'il fonctionne automatiquement.

TABLEAU I  
ESSAIS DE FIDELITE

|                                                                                                                                                                                                                                                         | n    | n <sub>1</sub> | n <sub>2</sub> | n <sub>3</sub> | n <sub>4</sub> | n <sub>5</sub> | X     | s     | σ      | $\frac{X-X'}{\sigma \sqrt{2}}$ | $\frac{s-s'}{\sigma}$ | X.s |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|-------|--------|--------------------------------|-----------------------|-----|
| <i>a) échantillons du même lot traités en deux fois</i>                                                                                                                                                                                                 |      |                |                |                |                |                |       |       |        |                                |                       |     |
| C <sub>1</sub> M <sub>1</sub> ....                                                                                                                                                                                                                      | 200  | 26             | 70             | 46             | 34             | 24             | 2,695 | 1,125 |        |                                |                       | 3,1 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | 200  | 25             | 70             | 64             | 27             | 14             | 2,579 | 0,996 |        |                                |                       | 1,6 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | moy  | 25,5           | 70             | 55             | 30,5           | 19             | 2,637 | 1,048 | 0,074  | 1,23                           | 1,74                  |     |
| C <sub>6</sub> M <sub>3</sub> ....                                                                                                                                                                                                                      | 200  | 11             | 24             | 52             | 42             | 71             | 3,518 | 1,132 |        |                                |                       | 4,0 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | 200  | 6              | 32             | 54             | 42             | 66             | 3,481 | 1,089 |        |                                |                       | 3,7 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | moy  | 8,5            | 28             | 53             | 42             | 68,5           | 3,500 | 1,114 | 0,0785 | 0,325                          | 0,547                 |     |
| C <sub>24</sub> M <sub>1</sub> ...                                                                                                                                                                                                                      | 200  | 33             | 90             | 53             | 17             | 7              | 2,302 | 0,899 |        |                                |                       | 2,1 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | 200  | 32             | 91             | 53             | 18             | 6              | 2,282 | 0,883 |        |                                |                       | 2,0 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | moy  | 32,5           | 90,5           | 53             | 17,5           | 6,5            | 2,292 | 0,891 | 0,063  | 0,224                          | 0,254                 |     |
| C <sub>23</sub> M <sub>3</sub> ...                                                                                                                                                                                                                      | 200  | 14             | 63             | 74             | 35             | 14             | 2,750 | 0,993 |        |                                |                       | 2,7 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | 200  | 14,5           | 69             | 69             | 33             | 14             | 2,704 | 0,949 |        |                                |                       | 2,6 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | moy  |                | 66             | 71,5           | 34             | 14             | 2,727 | 0,943 | 0,0666 | 0,487                          | 0,294                 |     |
| C <sub>23</sub> M <sub>4</sub> ...                                                                                                                                                                                                                      | 200  | 12             | 61             | 77             | 35             | 15             | 2,787 | 0,929 |        |                                |                       | 2,6 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | 200  | 20             | 79             | 67             | 28             | 6              | 2,515 | 0,877 |        |                                |                       | 2,2 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | moy  | 16             | 70             | 72             | 31,5           | 10,5           | 2,651 | 0,914 | 0,0645 | 2,98                           | 0,805                 |     |
| C <sub>23</sub> M <sub>1</sub> ...                                                                                                                                                                                                                      | 200  | 25             | 76             | 53             | 32             | 14             | 2,575 | 1,018 |        |                                |                       | 2,6 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | 200  | 23             | 80             | 53             | 24             | 20             | 2,583 | 1,040 |        |                                |                       | 2,7 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | moy  | 24             | 78             | 53             | 28             | 17             | 2,579 | 1,032 | 0,073  | 0,076                          | 0,31                  |     |
| C <sub>23</sub> M <sub>2</sub> ...                                                                                                                                                                                                                      | 200  | 18             | 65             | 71             | 29             | 17             | 2,703 | 0,932 |        |                                |                       | 2,5 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | 200  | 21             | 73             | 76             | 19             | 11             | 2,537 | 0,910 |        |                                |                       | 2,3 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | moy  | 19,5           | 69             | 73,5           | 24             | 14             | 2,620 | 0,950 | 0,067  | 1,75                           | 0,0338                |     |
| S.10 ....<br>(1)                                                                                                                                                                                                                                        | 300  | 27             | 90             | 102            | 60             | 21             | 2,750 | 0,979 |        |                                |                       | 2,7 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | 300  | 15             | 88             | 114            | 48             | 35             | 2,881 | 1,029 |        |                                |                       | 3,0 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | moy  | 21             | 89             | 108            | 54             | 28             | 2,815 | 0,980 | 0,0566 | 1,635                          | 0,882                 |     |
| S.13 ....<br>(1)                                                                                                                                                                                                                                        | 300  | 30             | 81             | 78             | 75             | 36             | 2,898 | 1,028 |        |                                |                       | 3,0 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | 300  | 34             | 94             | 108            | 49             | 15             | 2,631 | 0,949 |        |                                |                       | 2,5 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | moy  | 32             | 87,5           | 93             | 62             | 25,5           | 2,765 | 1,032 | 0,0595 | 3,18                           | 1,33                  |     |
| 084 ....<br>(1)                                                                                                                                                                                                                                         | 300  | 30             | 91             | 97             | 46             | 36             | 2,778 | 1,064 |        |                                |                       | 3,0 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | 300  | 28             | 77             | 97             | 61             | 37             | 2,886 | 1,064 |        |                                |                       | 3,1 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | moy  | 29             | 84             | 97             | 53,5           | 36,5           | 2,832 | 1,066 | 0,061  | 1,25                           | 0,001                 |     |
| 133 155 .                                                                                                                                                                                                                                               | 200  | 23             | 100            | 53             | 18             | 6              | 2,343 | 0,844 |        |                                |                       | 2,0 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | 200  | 16             | 99             | 59             | 26             | 0              | 2,394 | 0,756 |        |                                |                       | 1,8 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | moy  | 19,5           | 99,5           | 56             | 22             | 3              | 2,368 | 0,805 | 0,057  | 0,621                          | 1,545                 |     |
| 133 349 .                                                                                                                                                                                                                                               | 200  | 27             | 81             | 58             | 26             | 8              | 2,450 | 0,934 |        |                                |                       | 2,3 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | 200  | 25             | 78             | 52             | 32             | 13             | 2,556 | 1,003 |        |                                |                       | 2,6 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | moy  | 26             | 79,5           | 55             | 29             | 10,5           | 2,503 | 0,946 | 0,067  | 1,12                           | 1,03                  |     |
| 135 233 .                                                                                                                                                                                                                                               | 200  | 17             | 62             | 74             | 35             | 12             | 2,708 | 0,939 |        |                                |                       | 2,5 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | 200  | 18             | 65             | 67             | 34             | 16             | 2,718 | 0,958 |        |                                |                       | 2,6 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | moy  | 17,5           | 63,5           | 70,5           | 34,5           | 14             | 2,713 | 0,964 | 0,068  | 0,14                           | 0,295                 |     |
| 135 378 .                                                                                                                                                                                                                                               | 200  | 24             | 78             | 58             | 18             | 22             | 2,583 | 1,053 |        |                                |                       | 2,7 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | 200  | 19             | 53             | 67             | 37             | 24             | 2,853 | 1,058 |        |                                |                       | 3,0 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | moy  | 21,5           | 65,5           | 62,5           | 27,5           | 23             | 2,718 | 1,063 | 0,0607 | 3,10                           | 0,082                 |     |
| 208 ....                                                                                                                                                                                                                                                | 200  | 39             | 90             | 45             | 20             | 6              | 2,252 | 0,919 |        | 0,274                          | 0,274                 | 2,1 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | 300  | 48             | 126            | 80             | 27             | 9              | 2,270 | 0,912 |        | 0,001                          | 0,433                 | 2,1 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | 400  | 82             | 166            | 98             | 39             | 15             | 2,276 | 0,951 |        | 0,113                          | 0,455                 | 2,2 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | moy  | 19,88          | 42,45          | 24,79          | 9,55           | 3,33           | 2,269 | 0,931 | 0,0438 |                                |                       |     |
| (1) Echantillons industriels prélevés à divers niveaux dans la boîte, sans mélange préalable.                                                                                                                                                           |      |                |                |                |                |                |       |       |        |                                |                       |     |
| <i>b) Echantillons du même lot : les grains du premier échantillon ont été correctement disposés individuellement dans l'alvéole préalablement débarrassée des résidus. Le deuxième échantillon a été passé dans l'appareil sans aucune précaution.</i> |      |                |                |                |                |                |       |       |        |                                |                       |     |
| 136408                                                                                                                                                                                                                                                  | 200  | 11             | 36             | 65             | 56             | 32             | 3,167 | 1,016 |        |                                |                       | 3,2 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | 200  | 13             | 41             | 49             | 54             | 43             | 3,218 | 1,118 |        |                                |                       | 3,7 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | moy. | 12             | 38,5           | 57             | 55             | 37,5           | 3,192 | 1,072 | 0,0756 | 0,475                          | 1,035                 |     |
| 136802                                                                                                                                                                                                                                                  | 200  | 20             | 55             | 60             | 37             | 28             | 2,871 | 1,102 |        |                                |                       | 3,2 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | 200  | 6              | 80             | 51             | 36             | 27             | 2,871 | 1,029 |        |                                |                       | 3,0 |
|                                                                                                                                                                                                                                                         | moy. | 13             | 67,5           | 55,5           | 36,5           | 27,5           | 2,871 | 1,066 | 0,0752 | 0                              | 0,972                 |     |

| Repère                           | n    | n <sub>1</sub> | n <sub>2</sub> | n <sub>3</sub> | n <sub>4</sub> | n <sub>5</sub> | X     | s     | σ                      | $\frac{X-X'}{\sigma \sqrt{2}}$ | $\frac{s-s'}{\sigma}$ | X.s  |
|----------------------------------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|-------|------------------------|--------------------------------|-----------------------|------|
| c) Mélanges                      |      |                |                |                |                |                |       |       |                        |                                |                       |      |
| C <sub>3</sub> M <sub>1</sub> a  | 400  | 51             | 140            | 110            | 61             | 38             | 2,637 | 1,064 |                        |                                |                       | 2,8  |
| C <sub>6</sub> M <sub>3</sub> b  | 400  | 17             | 56             | 106            | 84             | 137            | 3,500 | 1,108 |                        |                                |                       | 3,85 |
| Mélange                          | 400  | 32             | 97             | 114            | 72             | 85             | 3,067 | 1,15  | Mesurés au scléromètre |                                |                       |      |
|                                  | 400  | 34             | 98             | 108            | 72,5           | 87,5           | 3,068 | 1,16  | Calculés (moy. c + b)  |                                |                       | 3,5  |
| C <sub>25</sub> M <sub>3</sub> c | 200  | 4              | 11             | 31             | 50             | 104            | 3,986 | 0,942 |                        |                                |                       | 3,8  |
| C <sub>25</sub> M <sub>1</sub> d | 200  | 48             | 88             | 38             | 17             | 9              | 2,191 | 0,974 |                        |                                |                       | 2,1  |
| Mélange                          | 200  | 26             | 46             | 36             | 41             | 51             | 3,088 | 1,23  | Mesurés au scléromètre |                                |                       | 3,8  |
|                                  | 200  | 26             | 49,5           | 34,5           | 33,5           | 56,5           | 3,088 | 1,31  | Calculés (moy. c + b)  |                                |                       | 4,0  |
|                                  | moy. | 26             | 47,75          | 35,25          | 37,25          | 53,75          | 3,088 | 1,30  |                        |                                |                       |      |

3) Le troisième essai de fidélité est destiné à déterminer dans quelle mesure l'appareil est susceptible de déceler le mélange de deux échantillons différents. Nous avons initialement mêlé des poids égaux de deux lots de malts, l'un tendre, l'autre dur. Voici résumé les résultats obtenus :

échantillon a  $X = 2,637$   $s = 1,064$  : tendre, moyennement homogène,  
échantillon b  $X = 3,500$   $s = 1,108$  : dur, hétérogène,  
mélange a + b  $X = 3,067$   $s = 1,15$  : dureté moyenne, plus hétérogène,  
échantillon c  $X = 2,191$   $s = 0,974$  : très tendre, assez homogène,  
échantillon d  $X = 3,986$   $s = 0,942$  : très dur, assez homogène,  
mélange c + d  $X = 3,088$   $s = 1,23$  : dureté moyenne, extrêmement hétérogène.

Ces chiffres donnent un aperçu des possibilités remarquables de détection des mélanges de grains de dureté différente. En effet, l'échantillon c + d a une dureté relativement élevée, mais cependant encore acceptable alors qu'en réalité, il est composé d'un mélange d'un malt forcé et d'un autre très mal désagré, plus proche d'une orge brute que d'un malt. Un tel produit ne saurait donner satisfaction en brasserie. Nous avons :

d'une part, tracé les histogrammes correspondant à cet essai (fig. 10),  
d'autre part, porté les résultats obtenus sur un graphique, dans le système X-s (fig. 11).

Les mesures concordent parfaitement avec les résultats du calcul effectué à partir des échantillons de base ayant servi au mélange.

Les histogrammes provenant du mélange de deux lots de duretés nettement différentes, présentent deux maxima bien marqués, correspondant aux sommets des graphiques de chacun des composants.

## b) Influence de l'humidité :

Un appareil destiné aux contrôles industriels des malts ne peut rendre de services pratiques que s'il donne des résultats concordants, quel que soit le taux d'humidité de l'échantillon qui lui est soumis, dans les limites normales courantes, bien entendu. Or, l'humidité des malts s'échelonne entre 3 et 10 %. Nous avons donc comparé les résultats obtenus avec un même malt dont l'humidité a été artificiellement amenée à des valeurs comprises entre ces limites.

Nous avons choisi quatre lots que nous avons divisés en un certain nombre d'échantillons. Chacun d'eux a reçu une certaine quantité d'eau, variable de l'un à l'autre afin d'obtenir une série d'humidités croissantes. Puis, nous les avons abandonnés trois à quatre semaines dans des ballons hermétiquement fermés. L'humidité s'est ainsi correctement homogénéisée.

Le lot C<sub>3</sub>M<sub>1</sub> a été divisé en quatre échantillons, dont les humidités, au moment de l'essai, étaient respectivement de 3,5 — 6,6 — 7,6 et 9,3 %.

Le lot S<sub>10</sub> a donné trois échantillons de 3,6 — 6,1 et 6,2 % d'humidité, le lot S<sub>13</sub>, trois échantillons de 3,2 — 7,9 et 8 % et, enfin, le lot 0,84, trois échantillons de 3,7 — 9,6 et 9,8 %.

Le tableau II donne les résultats des essais, ainsi que les calculs de la variance permettant de rechercher si les différences constatées entre les échantillons d'un même lot sont, ou non, significatives.

Parmi ces quatre essais, ceux effectués sur les échantillons C<sub>3</sub>M<sub>1</sub>, S<sub>10</sub> et 0,84 ne sont pas significatifs, même à 1 % (dans ce cas  $F = 3,02$  pour 400 et 3 pour 1.000 degrés de liberté). Seul le résultat donné par S<sub>13</sub> est significatif à plus de 5 % (d'après les tables  $F = 4,62$  avec 1.000 degrés de liberté dans le nombre de grains traités et deux degrés de liberté dans le nombre d'expériences).

Nous remarquerons d'ailleurs que c'est déjà l'échantillon S<sub>13</sub> qui, dans l'essai précédent, avait donné des écarts significatifs.

Les résultats ne variant en outre pas dans le même sens suivant les taux d'humidité d'un essai à l'autre, nous en déduisons que l'humidité n'a pas ou a très peu d'influence sur les indications du scléromètre.

## c) Comparaison entre diverses méthodes de contrôle physique des grains :

Il nous a paru intéressant de comparer les résultats donnés par le scléromètre avec ceux obtenus à l'aide du diaphanoscope et par le contrôle de la longueur de la plumule.

# Essais de fidélité : Mélanges

## Histogrammes

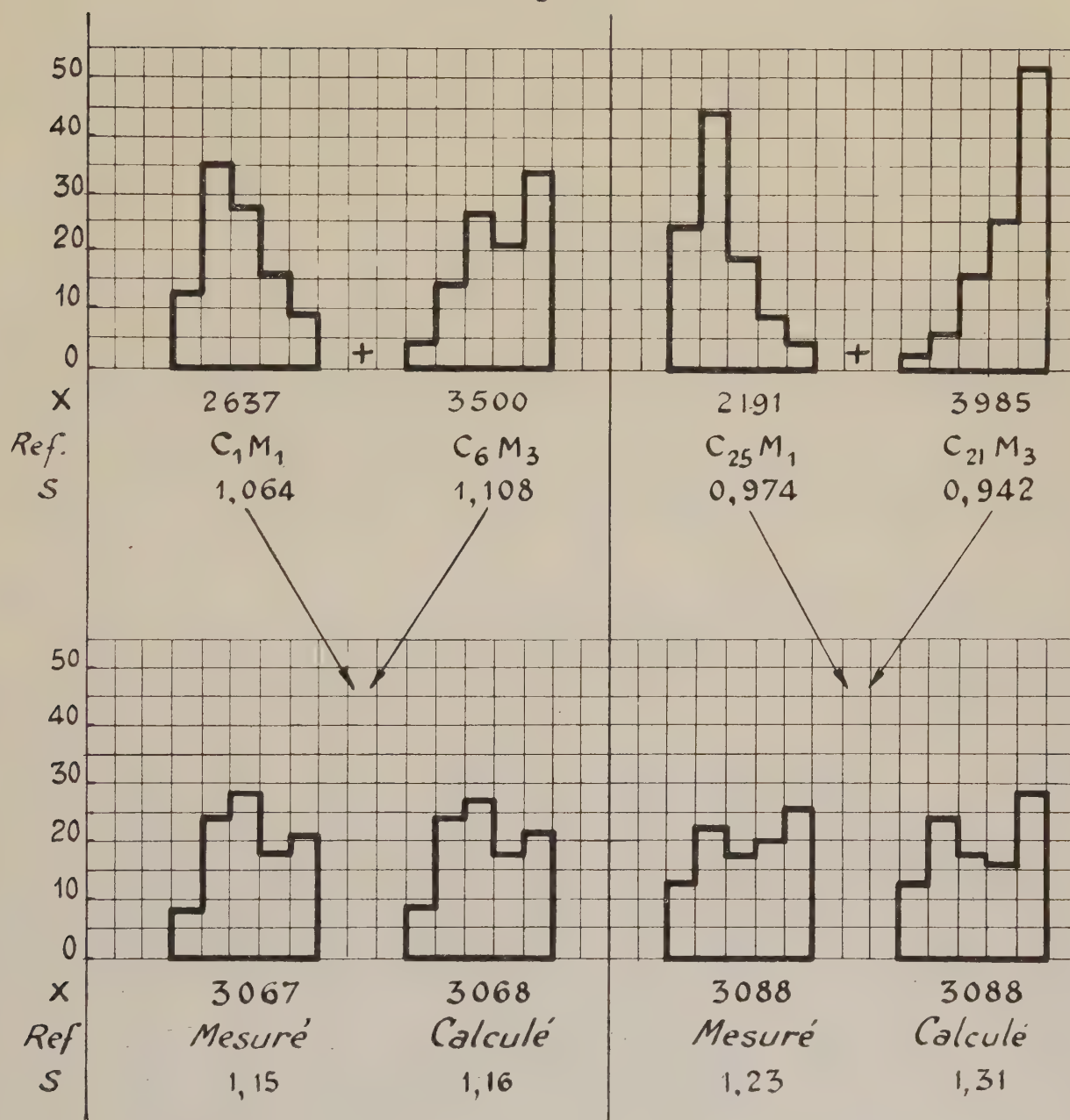


Fig: 10

Fig: 11 Essais de fidélité: Melanges

Représentation dans le système .X - s'.

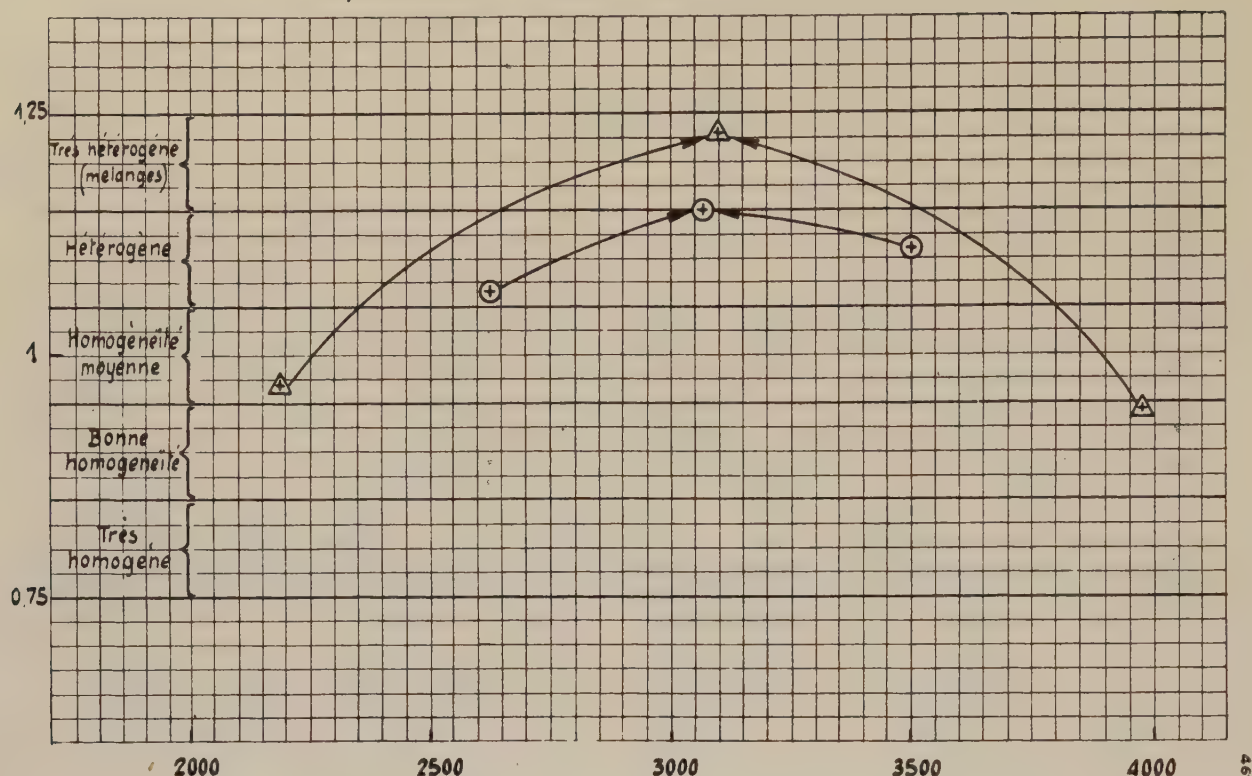


TABLEAU II

ESSAIS A HUMIDITE VARIABLE

| Repère          | H % | N     | n <sub>1</sub> | n <sub>2</sub> | n <sub>3</sub> | n <sub>4</sub> | n <sub>5</sub> | X     | s    |
|-----------------|-----|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|------|
| C.8 - M.I. .... | 3,5 | 200   | 27             | 57             | 62             | 33             | 21             | 2,713 | 1,18 |
|                 | 6,6 | 200   | 15             | 72             | 52             | 35             | 26             | 2,811 | 1,15 |
|                 | 7,6 | 200   | 17             | 60             | 60             | 31             | 32             | 2,885 | 1,22 |
|                 | 9,3 | 200   | 18             | 66             | 60             | 35             | 21             | 2,764 | 1,17 |
| Total .....     |     | 800   | 77             | 255            | 234            | 134            | 100            | 2,793 | 1,17 |
| S.10 .....      | 3,6 | 500   | 37             | 163            | 171            | 88             | 41             | 2,756 | 0,98 |
|                 | 6,1 | 300   | 27             | 90             | 102            | 60             | 21             | 2,750 | 0,96 |
|                 | 6,2 | 300   | 15             | 88             | 114            | 48             | 35             | 2,880 | 0,92 |
| Total .....     |     | 1.100 | 79             | 341            | 387            | 196            | 97             | 2,788 | 0,96 |
| S.13 .....      | 3,7 | 500   | 36             | 170            | 154            | 98             | 42             | 2,769 | 1,00 |
|                 | 7,9 | 300   | 30             | 81             | 78             | 75             | 36             | 2,898 | 1,20 |
|                 | 8   | 300   | 34             | 94             | 108            | 49             | 15             | 2,624 | 0,90 |
| Total .....     |     | 1.100 | 100            | 345            | 340            | 222            | 93             | 2,764 | 1,04 |
| O.84 .....      | 3,7 | 200   | 13             | 88             | 38             | 36             | 25             | 2,750 | 1,17 |
|                 | 9,6 | 300   | 30             | 91             | 97             | 46             | 36             | 2,778 | 1,11 |
|                 | 9,8 | 300   | 28             | 77             | 97             | 61             | 37             | 2,886 | 1,09 |
| Total .....     |     | 800   | 71             | 256            | 232            | 143            | 98             | 2,812 | 1,14 |

CALCUL DE LA VARIANCE

| Repère                        | N <sub>i</sub> | S <sub>i</sub><br>Σn <sub>i</sub> x <sub>i</sub> | Q <sub>i</sub><br>Σn <sub>i</sub> x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | M <sub>i</sub><br>S <sub>i</sub> /N <sub>i</sub> | M <sub>i</sub> S <sub>i</sub> | Q—M <sub>i</sub> S <sub>i</sub> |                |          | Degrés de liberté |
|-------------------------------|----------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|----------------|----------|-------------------|
| C <sub>s</sub> M <sub>1</sub> | 200            | 542,700                                          | 1708,358                                                      | 2,7135                                           | 1472,616                      | 235,742                         | Sq total ..... | 932,604  | 799               |
|                               | 200            | 562,125                                          | 1810,834                                                      | 2,8106                                           | 1579,923                      | 230,911                         | Sq intra ..... | 919,435  | 796               |
|                               | 200            | 576,925                                          | 1909,772                                                      | 2,8846                                           | 1664,212                      | 235,540                         | Sq inter ..... | 3,169    | 3                 |
|                               | 200            | 552,875                                          | 1745,576                                                      | 2,7644                                           | 1528,354                      | 217,222                         |                | 919,435  |                   |
| Total ....                    | 800            | 2234,625                                         | 7.174,540                                                     | 2,7933                                           | 6241,936                      | 932,604                         | Va intra ..... | 796      | = 1,155           |
|                               |                |                                                  |                                                               | Somme :                                          | 6245,105                      | 919,435                         | 3,169          |          |                   |
|                               |                |                                                  |                                                               |                                                  |                               |                                 | Ve inter ..... | 3        | = 1,056           |
|                               |                |                                                  |                                                               |                                                  |                               |                                 | F = 0,914      |          |                   |
| S.10                          | 500            | 1378,025                                         | 4271,941                                                      | 2,7560                                           | 3797,837                      | 474,104                         | Sp total ..... | 1052,715 | 1099              |
|                               | 300            | 825,150                                          | 2557,168                                                      | 2,7505                                           | 2269,575                      | 287,593                         | Sq intra ..... | 1049,187 | 1097              |
|                               | 300            | 864,000                                          | 2775,810                                                      | 2,8800                                           | 2488,320                      | 287,490                         | Sq inter ..... | 3,528    | 2                 |
|                               |                |                                                  |                                                               |                                                  |                               |                                 |                | 1049,187 |                   |
| Total ....                    | 1100           | 3067,175                                         | 9604,919                                                      | 2,7883                                           | 8552,204                      | 1052,715                        | Va intra ..... | 1097     | = 0,956           |
|                               |                |                                                  |                                                               | Somme :                                          | 8555,732                      | 1049,187                        | 3,528          |          |                   |
|                               |                |                                                  |                                                               |                                                  |                               |                                 | Ve inter ..... | 2        | = 1,764           |
|                               |                |                                                  |                                                               |                                                  |                               |                                 | F = 1,845      |          |                   |
| S.13                          | 500            | 1384,500                                         | 4323,782                                                      | 2,7690                                           | 3833,680                      | 490,102                         | Sq total ..... | 1131,069 | 1099              |
|                               | 300            | 869,550                                          | 2879,650                                                      | 2,8985                                           | 2520,391                      | 259,259                         | Sq intra ..... | 1019,757 | 1097              |
|                               | 300            | 787,225                                          | 2336,153                                                      | 2,6241                                           | 2065,757                      | 270,396                         | Sq inter ..... | 11,312   | 2                 |
|                               |                |                                                  |                                                               |                                                  |                               |                                 |                | 1019,757 |                   |
| Total ....                    | 1100           | 3041,275                                         | 9539,586                                                      | 2,7648                                           | 8408,517                      | 1131,069                        | Va intra ..... | 1097     | = 0,930           |
|                               |                |                                                  |                                                               | Somme :                                          | 8419,828                      | 1019,757                        | 11,312         |          |                   |
|                               |                |                                                  |                                                               |                                                  |                               |                                 | Ve inter ..... | 2        | = 6,081           |
|                               |                |                                                  |                                                               |                                                  |                               |                                 | F = 6,081      |          |                   |
| 0,84                          | 200            | 550,100                                          | 1745,848                                                      | 2,7505                                           | 1513,050                      | 232,798                         | Sq total ..... | 916,077  | 799               |
|                               | 300            | 833,475                                          | 2655,602                                                      | 2,7782                                           | 2315,602                      | 340,000                         | Sq intra ..... | 913,331  | 797               |
|                               | 300            | 865,850                                          | 2839,515                                                      | 2,8862                                           | 2498,982                      | 340,533                         | Sq inter ..... | 2,746    | 2                 |
|                               |                |                                                  |                                                               |                                                  |                               |                                 |                | 913,331  |                   |
| Total ....                    | 800            | 2249,425                                         | 7240,965                                                      | 2,8118                                           | 6324,888                      | 916,077                         | Va intra ..... | 797      | = 1,146           |
|                               |                |                                                  |                                                               | Somme :                                          | 6327,634                      | 913,331                         | 2,746          |          |                   |
|                               |                |                                                  |                                                               |                                                  |                               |                                 | Ve inter ..... | 2        | = 1,373           |
|                               |                |                                                  |                                                               |                                                  |                               |                                 | F = 1,198      |          |                   |

TABLEAU III

ESSAI COMPARATIF ENTRE SCLEROMETRE DIAPHANOSCOPE ET LONGUEUR DE LA PLUMULE

| 947 |         |     | 974 |         |     | 056 |         |     | C <sup>o</sup> M <sup>11</sup> |         |     |
|-----|---------|-----|-----|---------|-----|-----|---------|-----|--------------------------------|---------|-----|
| S   | P       | D   | S   | P       | D   | S   | P       | D   | S                              | P       | D   |
| 1   | 1/2-3/4 | P   | 1   | 1/2-3/4 | O   | 1   | 0-1/2   | O   | 1                              |         |     |
|     | 1/2-3/4 | P   |     | 1/2-3/4 | O   |     | 0-1/2   | P   |                                |         |     |
|     | 3/4-1   | P   |     | 0-1/2   | P   |     | 0-1/2   | 1/4 |                                |         |     |
|     | 3/4-1   | P   |     | 0-1/2   | 1/4 |     | 0-1/2   | 1/4 |                                |         |     |
|     | 3/4-1   | 1/3 |     |         |     |     | 0-1/2   | 1/3 |                                |         |     |
|     | 3/4-1   | 1/2 |     |         |     |     | 1/2-3/4 | 1/3 |                                |         |     |
| 2   | 1/2-3/4 | 1/4 | 2   | 1/2-3/4 | 1/4 | 2   | 0-1/2   | 1/4 | 2                              |         |     |
|     | 3/4-1   | 1/4 |     | 1/2-3/4 | 1/4 |     | 1/2-3/4 | O   |                                |         |     |
|     | 0-1/2   | 1/3 |     | 1/2-3/4 | 1/3 |     | 3/4-1   | 1/2 |                                |         |     |
|     | 1/2-3/4 | 1/3 |     | 3/4-1   | 1/3 |     | 0-1/2   | 2/3 |                                |         |     |
|     | 1/2-3/4 | 1/3 |     | 3/4-1   | 1/3 |     | 1/2-3/4 | 2/3 |                                |         |     |
|     | 1/2-3/4 | P   |     | 1/2-3/4 | P   |     | 0       | + 1 |                                |         |     |
|     | 0-1/2   | 1/2 |     | + 1     | P   |     |         |     |                                |         |     |
|     | 3/4-1   | 3/4 |     | 0-1/2   | 1/2 |     |         |     |                                |         |     |
|     | 0-1/2   | 1   |     | 1/2-3/4 | 1/2 |     |         |     |                                |         |     |
|     |         |     |     |         |     |     |         |     |                                |         |     |
| 3   | 0-1/2   | 1/2 | 3   | 0-1/2   | 1/2 | 3   | 1/2-3/4 | 1/2 | 3                              | 0       | 1/2 |
|     | + 1     | 2/3 |     | 3/4-1   | 2/3 |     | 0-1/2   | 1/2 |                                | 3/4-1   | 2/3 |
|     | 3/4-1   | 1/4 |     | 0-1/2   | 1/4 |     | 1/2-3/4 | 2/3 |                                | + 1     | 1/4 |
|     |         |     |     | 3/4-1   | 1/3 |     | 1/2-3/4 | 0   |                                | + 1     | 3/4 |
|     |         |     |     |         |     |     | + 1     | 0   |                                |         |     |
| 4   | 3/4-1   | 1/2 | 4   | 0       | 1/3 | 4   | 1/2-3/4 | 1/2 | 4                              | 0-1/2   | 2/3 |
|     | 0       | 1   |     |         |     |     |         |     |                                | 3/4-1   | P   |
|     |         |     |     |         |     |     |         |     |                                | 0-1/2   | 1/4 |
|     |         |     |     |         |     |     |         |     |                                | + 1     | 1/3 |
|     |         |     |     |         |     |     |         |     |                                | 3/4-1   | 1/2 |
|     |         |     |     |         |     |     |         |     |                                | 3/4-1   | 1/2 |
|     |         |     |     |         |     |     |         |     |                                | + 1     | 1/2 |
| 5   |         |     | 5   | 0       | 1/2 | 5   | 3/4-1   | 1   | 5                              | 0-1/2   | 1   |
|     |         |     |     |         |     |     | 0       | 1/2 |                                | 0-1/2   | 1   |
|     |         |     |     |         |     |     |         |     |                                | 0-1/2   | 1   |
|     |         |     |     |         |     |     |         |     |                                | 1/2-3/4 | 1/3 |
|     |         |     |     |         |     |     |         |     |                                | 0-1/2   | 1/2 |
|     |         |     |     |         |     |     |         |     |                                | 1/2-3/4 | 1/2 |
|     |         |     |     |         |     |     |         |     |                                | 3/4-1   | 1/2 |
|     |         |     |     |         |     |     |         |     |                                | 0-1/2   | 2/3 |
|     |         |     |     |         |     |     |         |     |                                | 1       | 2/3 |
|     |         |     |     |         |     |     |         |     |                                |         |     |

S = référence des compteurs du Scléromètre. — D = indication du diaphanoscope. — P = longueur de la plumule.

Concordance admise

| Diaphanoscope | Scléromètre |
|---------------|-------------|
| 0 — P         | 1           |
| 1/4 — 1/3     | 2           |
| 1/2 — 2/3     | 3           |
| 3/4           | 4           |
| 1             | 5           |

Nous avons recherché le maximum de précision dans nos mesures comparatives. Dans ce but, nous avons prélevé vingt grains dans quatre lots différents.

Chaque grain était :

examiné à l'appareil de Bloch afin de déterminer la longueur de la plumule indépendamment de tout facteur personnel,

passé au diaphanoscope,  
soumis au scléromètre.

Les résultats sont consignés dans le tableau III. Nous y avons classé les quatre échantillons examinés par ordre de dureté croissante de gauche à droite. Pour plus de simplicité, nous avons adopté les conventions suivantes :

Pour chaque échantillon, la colonne S représente la référence des compteurs du scléromètre ; la colonne D donne les indications du diaphanoscope (pointe translucide = p — 1/4 vitreux = 1/4 ...) ; enfin, la colonne P correspond aux longueurs de plumule.

Chaque grain est inscrit dans la case correspondant à sa dureté au scléromètre avec les indications qu'avaient donné sur lui le « diaphanoscope » et la règle de Bloch.

Afin de rechercher s'il existe une certaine corrélation entre ces trois indications, nous avons établi des graphiques de concordance.

### Comparaison entre le Scléromètre et le Diaphanoscope

Nous avons affecté les indications du diaphanoscope des indices suivants :

|                                                     |   |
|-----------------------------------------------------|---|
| Grain entièrement opaque et pointe translucide .... | 1 |
| Grain 1/4 à 1/3 translucide .....                   | 2 |
| Grain 1/2 à 2/3 translucide .....                   | 3 |
| Grain 2/3 à 3/4 translucide .....                   | 4 |
| Grain entièrement translucide .....                 | 5 |

Les résultats sont transcrit numériquement dans un carré de cinq fois cinq cases (tableau IV). Les grains enregistrés au premier compteur du Scléromètre sont inscrits numériquement sur la ligne horizontale un, dans les cases correspondantes aux indications du diaphanoscope. Ceux donnés par le deuxième compteur sont portés sur la ligne deux, et ainsi de suite.

Nous pouvons calculer, pour chaque tableau, le coefficient de corrélation de Browais-Pearson :

$$r = \frac{\sum \frac{f_{ij} \cdot a_i \cdot b_j}{N} - m_a \cdot m_b}{\sqrt{\sigma a^2 - \sigma b^2}}$$

$f_{ij}$ , étant les nombres inscrits dans chaque case,

$a_i$  et  $b_j$  les valeurs de l'abscisse et de l'ordonnée (1-2-3-4-5)

$$\sigma a^2 = \frac{\sum n_i a_i^2}{N} - m_a^2$$

$$\sigma b^2 = \frac{\sum n_j b_j^2}{N} - m_b^2$$

$n_i$  représente la somme des colonnes verticales,

$n_j$  celle des lignes horizontales,

$$m_a = \frac{\sum n_i a_i}{N}$$

$$m_b = \frac{\sum n_j b_j}{N}$$

$r$  varie de — 1 à + 1. Pour  $r = 0$  la corrélation est nulle.

TABLEAU IV

TABLEAU DE CONCORDANCE SCLEROMETRE-DIAPHANOSCOPE

| 1         | 2 | 3 | 4 | 5 |    |
|-----------|---|---|---|---|----|
| 5         | 1 |   | 1 |   | 2  |
| 4         | 1 |   |   |   | 1  |
| 3         | 1 | 1 | 2 | 1 | 5  |
| 2         | 1 | 5 | 1 |   | 7  |
| 1         | 4 | 1 |   |   | 5  |
| 6         | 9 | 3 | 2 | 0 | 20 |
| n° 947    |   |   |   |   |    |
| X = 2,429 |   |   |   |   |    |
| s = 1,2   |   |   |   |   |    |
| r = 0,57  |   |   |   |   |    |

| 1         | 2 | 3 | 4 | 5 |    |
|-----------|---|---|---|---|----|
| 5         |   |   |   |   | 0  |
| 4         |   |   |   |   | 0  |
| 3         |   | 2 | 2 |   | 1  |
| 2         | 1 | 5 | 2 | 1 | 9  |
| 1         | 3 | 2 |   |   | 5  |
| 4         | 9 | 4 | 1 | 1 | 19 |
| n° 974    |   |   |   |   |    |
| X = 2,561 |   |   |   |   |    |
| s = 1,7   |   |   |   |   |    |
| r = 0,65  |   |   |   |   |    |

| 1         | 2 | 3 | 4 | 5 |    |
|-----------|---|---|---|---|----|
| 5         | 1 |   |   | 1 | 2  |
| 4         |   |   | 0 |   | 0  |
| 3         | 3 | 3 | 1 | 1 | 8  |
| 2         | 4 | 1 |   |   | 5  |
| 1         | 2 | 1 | 2 |   | 5  |
| 6         | 6 | 5 | 1 | 2 | 20 |
| n° 056    |   |   |   |   |    |
| X = 2,732 |   |   |   |   |    |
| s = 1,1   |   |   |   |   |    |
| r = 0,45  |   |   |   |   |    |

| 1                                | 2 | 3 | 4 | 5 |    |
|----------------------------------|---|---|---|---|----|
| 5                                |   |   |   | 3 | 3  |
| 4                                |   | 1 | 0 |   | 1  |
| 3                                |   | 2 | 4 | 5 | 11 |
| 2                                | 0 | 1 | 2 | 1 | 4  |
| 1                                | 0 |   | 1 |   | 1  |
| 0                                | 0 | 4 | 7 | 9 | 20 |
| N° C <sub>6</sub> M <sub>3</sub> |   |   |   |   |    |
| X = 3,518                        |   |   |   |   |    |
| s = 1,3                          |   |   |   |   |    |
| r = 0,33                         |   |   |   |   |    |

TABLEAU V

TABLEAU DE CONCORDANCE SCLEROMETRE-PLUMULE

| 1        | 2 | 3 | 4 | 5 |    |
|----------|---|---|---|---|----|
| 5        |   |   | 1 |   | 1  |
| 4        | 3 | 1 |   |   | 4  |
| 3        | 2 | 4 |   |   | 6  |
| 2        | 4 | 2 | 1 | 1 | 8  |
| 1        |   | 1 |   |   | 1  |
| 6        | 9 | 3 | 2 | 0 | 20 |
| n° 947   |   |   |   |   |    |
| r = 0,23 |   |   |   |   |    |

| 1        | 2 | 3 | 4 | 5 |    |
|----------|---|---|---|---|----|
| 5        |   |   | 1 | 1 | 2  |
| 4        | 2 | 1 | 2 |   | 5  |
| 3        | 2 | 5 | 2 |   | 9  |
| 2        |   | 2 |   |   | 2  |
| 1        | 1 |   |   |   | 1  |
| 4        | 9 | 4 | 1 | 1 | 19 |
| n° 974   |   |   |   |   |    |
| r = 0,43 |   |   |   |   |    |

| 1        | 2 | 3 | 4 | 5 |    |
|----------|---|---|---|---|----|
| 5        |   |   |   | 1 | 1  |
| 4        | 5 | 2 | 1 |   | 8  |
| 3        | 1 | 2 | 3 | 1 | 7  |
| 2        |   | 1 |   | 1 | 2  |
| 1        | 1 | 1 |   |   | 2  |
| 6        | 6 | 5 | 1 | 2 | 20 |
| n° 056   |   |   |   |   |    |
| r = 0,18 |   |   |   |   |    |

| 1                                | 2 | 3 | 4 | 5 |    |
|----------------------------------|---|---|---|---|----|
| 5                                |   |   |   | 3 | 3  |
| 4                                |   | 1 |   |   | 1  |
| 3                                |   | 2 | 4 | 5 | 11 |
| 2                                |   | 1 | 2 | 1 | 4  |
| 1                                |   |   | 1 |   | 1  |
| 0                                | 0 | 4 | 7 | 9 | 20 |
| n° C <sub>6</sub> M <sub>3</sub> |   |   |   |   |    |
| r = 0,32                         |   |   |   |   |    |

A titre d'exemple, nous donnons le déroulement du calcul pour l'échantillon 947.

| $f_{ij}$ | $a_i$ | $b_j$ | $f_{ij} \cdot a_i \cdot b_j$ | $n_i$ | $a_i$ | $a_i^2$ | $n_i a_i$ | $n_i a_i^2$ |
|----------|-------|-------|------------------------------|-------|-------|---------|-----------|-------------|
| 4        | 1     | 1     | 4                            | 6     | 1     | 1       | 6         | 6           |
| 1        | 2     | 1     | 2                            | 9     | 2     | 4       | 18        | 36          |
| 1        | 1     | 2     | 2                            | 3     | 3     | 9       | 9         | 27          |
| 5        | 2     | 2     | 20                           | 2     | 4     | 16      | 8         | 32          |
| 1        | 3     | 2     | 6                            | 0     | 5     | 25      | 0         | 0           |
|          |       |       |                              | 20    |       |         | 41        | 101         |
|          | $b_j$ |       |                              | $n_j$ | $b_j$ | $b_j^2$ | $n_j b_j$ | $n_j b_j^2$ |
| 1        | 1     | 3     | 3                            | 5     | 1     | 1       | 5         | 5           |
| 1        | 2     | 3     | 6                            | 7     | 2     | 4       | 14        | 28          |
| 2        | 3     | 3     | 18                           | 5     | 3     | 9       | 15        | 45          |
| 1        | 4     | 3     | 12                           | 1     | 4     | 16      | 4         | 16          |
| 1        | 2     | 4     | 8                            | 2     | 5     | 25      | 10        | 50          |
| 1        | 2     | 5     | 10                           |       |       |         |           |             |
| 1        | 4     | 5     | 20                           | 20    |       |         | 48        | 144         |
| 20       |       |       | 111                          |       |       |         |           |             |

$$\begin{aligned}
m_a &= \frac{41}{20} = 2,05 & m_b &= \frac{48}{20} = 2,4 \\
\sigma a^2 &= \frac{101}{20} - 2,05^2 = 5,05 - 4,2 = 0,85 \\
\sigma b^2 &= \frac{144}{20} - 2,4^2 = 7,2 - 5,76 = 1,44 \\
r &= \frac{\frac{111}{20} - 2,05 \cdot 2,4}{\sqrt{0,85 \cdot 1,44}} = \frac{0,63}{1,106} = 0,57
\end{aligned}$$

Appliqué à chaque échantillon, le même calcul donne :

échantillon 974  $r = 0,65$   
échantillon 056  $r = 0,45$   
échantillon C<sub>6</sub>M<sub>3</sub>  $r = 0,33$

La corrélation est donc faible, surtout avec l'échantillon C<sub>6</sub>M<sub>3</sub>.

#### Comparaison entre la longueur de la plumule et les indications du scléromètre

Les indications obtenues avec l'appareil de Bloch ont été chiffrées en raison inverse du développement de la plumule, ainsi :

|                       |   |
|-----------------------|---|
| + 1 et hussards ..... | 1 |
| 3/4 à + 1 .....       | 2 |
| 1/2 à 3/4 .....       | 3 |
| 0 à 1/2 .....         | 4 |
| 0 .....               | 5 |

Les résultats sont transcrits sur les tableaux de concordance (V) construits suivant les mêmes règles que pour les comparaisons précédentes. Les calculs des coefficients de corrélation donnent :

échantillon 947  $r = 0,23$   
échantillon 974  $r = 0,43$   
échantillon 056  $r = 0,18$   
échantillon C<sub>6</sub>M<sub>3</sub>  $r = 0,32$

La corrélation est donc excessivement faible.

Nous n'avons pas cru utile de poursuivre cette étude, car il n'y a pas lieu de nous étonner de ne pas trouver de corrélation entre ces trois grandeurs. En effet, le scléromètre donne des indications sur la cohésion de l'amande. Or, il existe bien une certaine relation entre ce caractère et la vitrosité mais le ciment intercellulaire est complexe et sa dégradation peut être poussée à des stades variés pour un même aspect du grain. Nous avons souvent constaté que des grains absolument opaques étaient cependant très durs. Inversement, certains grains à aspect vitreux sont infiniment plus tendres que pourrait le laisser présager un simple examen au diaphanoscope.

Quant à la longueur de la plumule, elle est certes en relation avec la désagrégation comme nous l'avons indiqué au début de cette étude : le front de dégradation précède sensiblement l'extrémité de la plumule. Il est malheureusement bien connu que le simple examen de la pousse ne permet pas de déduire absolument l'état de la dégradation qui dépend en outre des conditions d'humidité, de température et d'oxygénation tout au long des diverses opérations du maltage.

#### Autres méthodes physiques :

Nous n'avons pas établi de parallèle entre le Scléromètre et l'épreuve à la dent. Le facteur personnel a une bien trop grande influence dans cette détermination.

Le farinatome ne lui a pas non plus été comparé car il n'y a rien de véritablement chiffrable dans l'appréciation très superficielle et bien subjective de l'amande à l'aide de cet appareil.

Nous pouvons affirmer, à la suite de nombreux essais auxquels nous nous sommes livrés avec le scléromètre, que la classification en amande ou pointe dures, demi-dures ou tendres, n'a rigoureusement aucune signification. Ce qui peut avoir un sens à l'intérieur d'un même échantillon n'en n'a plus aucun d'un lot à un autre. Le farinatome peut donc à la rigueur permettre une certaine classification en rapport avec l'homogénéité, mais à coup sûr pas avec la dureté.

N'ayant pas eu à notre disposition de farinopgraphe « Brabender », nous ne pouvons donner ici une appréciation objective sur cet appareil. Nous rappellerons simplement les critiques que nous en avons faites dans l'étude comparative des diverses méthodes d'appréciation de la désagrégation. Nous allons voir, par la suite, que la seule appréciation de la dureté est loin d'être suffisante pour se faire une opinion sur la désagrégation d'un échantillon.

#### d) Etude de la progression de la désagrégation au cours de la germination

Nous avons essayé de suivre la désagrégation au fur et à mesure de la progression de la germination.

Un lot d'orge Aurore 1952 a été divisé en cinq fractions d'environ un kilo qui ont été mises en trempé et germées, dans des conditions aussi identiques que possible, au micro-malteur de l'Ecole de Brasserie.

Nous avons arrêté la germination et procédé au touraillage dans des conditions normales, successivement pour chacune des fractions au bout de deux, quatre, six, huit et dix jours.

Sur le tableau VI sont rassemblés :

- 1) les résultats donnés par le scléromètre,
- 2) les indications du diaphanoscope,
- 3) le développement des plumules,
- 4) les conditions de trempé et de germination.

Pour pouvoir transcrire ces indications sur des courbes (fig. 12), nous avons déterminé :

- 1) pour les indications du diaphanoscope, un coefficient D :

Chaque catégorie a été affectée des facteurs suivants :

| Longueur de la partie vitreuse | Facteur |
|--------------------------------|---------|
| 0 — 1/4                        | 0       |
| 1/4 — 1/3                      | 2       |
| 1/3 — 2/3                      | 5       |
| 2/3 — 3/4                      | 7       |
| 3/4 + 1                        | 8       |

D est égal à la somme des produits du nombre de grains classés dans chaque catégorie par le facteur correspondant, divisée par le nombre total de grains examinés.

$$D = \frac{\sum n_i f_i}{N}$$

- 2) un coefficient P de développement de la plumule :

Chaque catégorie a, de même, été affectée des facteurs suivants :

| Longueur de la plumule | Facteur |
|------------------------|---------|
| 0                      | 3       |
| 0 — 1/2                | 7       |
| 1/2 — 3/4              | 12      |
| 3/4 + 1                | 17      |
| hussards               | 21      |

Afin d'obtenir une courbe décroissante dans le même sens que la dureté, P a été choisi égal au rapport de 100 à la somme des produits du nombre de grains classés dans chaque catégorie par le facteur correspondant, rapportée à un grain.

$$P = \frac{100}{\frac{\sum n_i f_i}{N}}$$

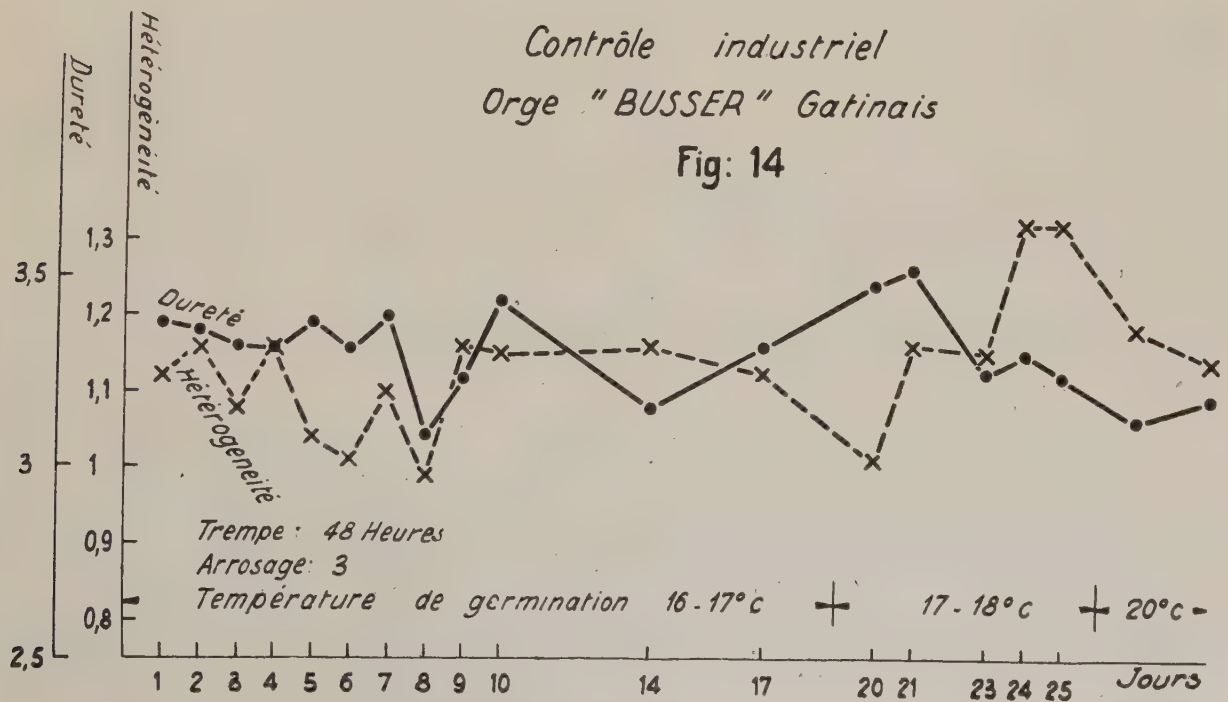
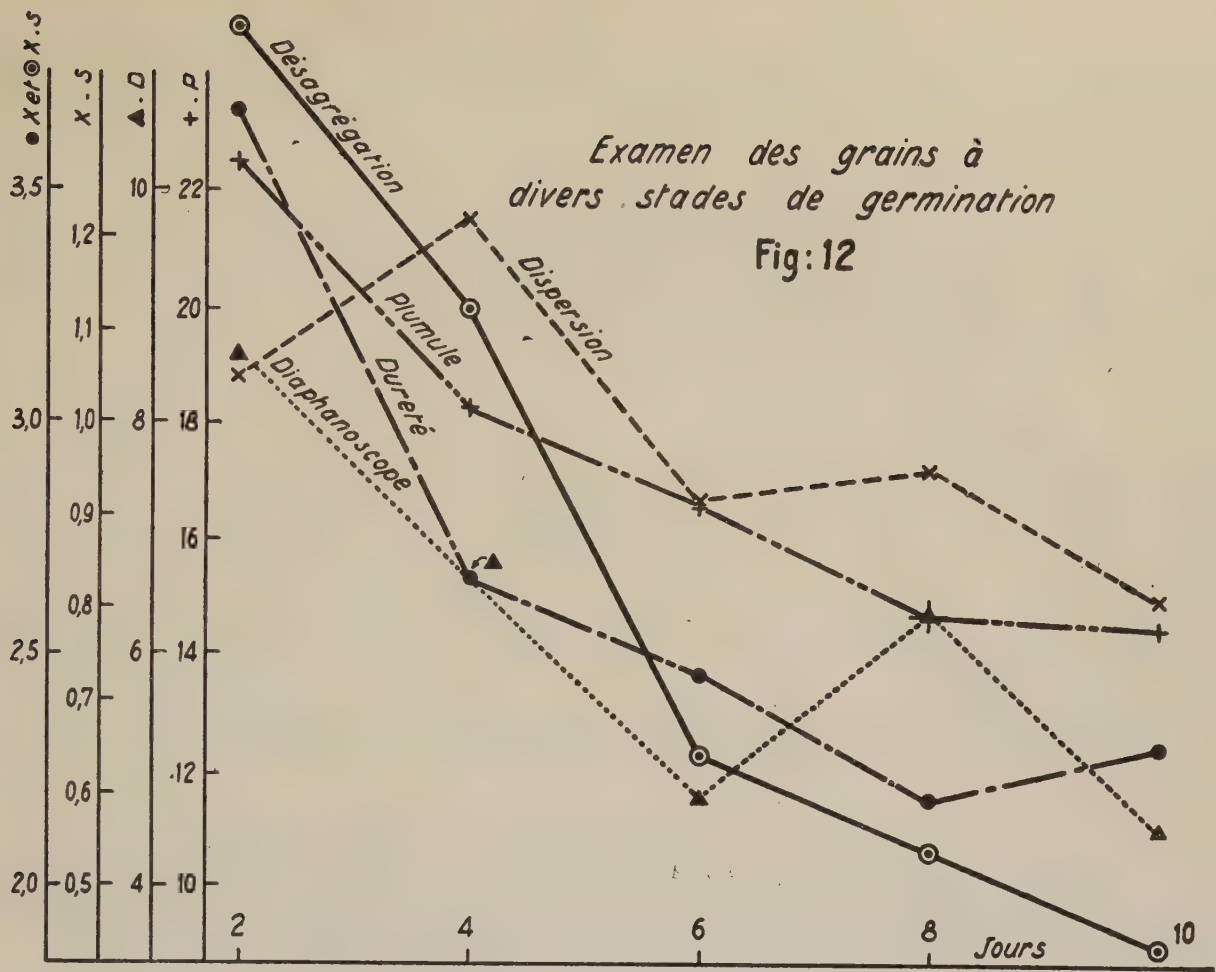
A l'examen de ce tableau, et des courbes correspondantes, nous voyons que la *dureté* décroît à peu près régulièrement comme l'inverse de la pousse. Entre le deuxième et le quatrième jour, la diminution de la dureté est cependant plus accentuée.

La *dispersion* accuse une remontée importante entre le deuxième et le quatrième jour. Le deuxième jour la dureté est encore très grande car les grains sont très peu désagregés. Le lot est donc relativement homogène.

Il est normal de constater une hétérogénéité élevée le quatrième jour. En effet, la germination est en pleine activité (industriellement, on dit que la couche « jette son feu »). Or tous les germes ne démarrent pas simultanément. Les grains accusent donc les uns par rapport aux autres des retards plus ou moins importants dans la désagrégation. Les écarts s'amenuisent dans les jours qui suivent et la dispersion diminue constamment par la suite.

Le produit de la dispersion par la dureté  $X \cdot s$  semble donner une courbe intéressante qui doit manifester beaucoup mieux que l'un ou l'autre des chiffres pris isolément, l'état de la désagrégation. Nous pensons, pour des raisons déjà citées, qu'il n'est pas correct de ne considérer que la dureté. Pour apprécier un malt, il est indispensable de connaître à la fois son homogénéité et sa dureté moyenne.

Nous proposons donc de définir, pour les échantillons, un *coefficient de cohésion moyen* égal au produit de la dureté par le coefficient de dispersion.



## INFLUENCE DE LA DUREE

| Repères               | SCLEROMETRE |                |                |                |                |                |       |      |      | DIAPHANOSCOPE |            |            |            |
|-----------------------|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|------|------|---------------|------------|------------|------------|
|                       | N           | n <sub>1</sub> | n <sub>2</sub> | n <sub>3</sub> | n <sub>4</sub> | n <sub>5</sub> | X     | S    | X.s  | o-p           | 1/4<br>1/3 | 1/3<br>2/3 | 2/3<br>3/4 |
| C <sub>80</sub> ..... | 200         | 3              | 20             | 52             | 54             | 71             | 3,666 | 1,05 | 3,85 | 36            | 20         | 32         | 6          |
| C <sub>29</sub> ..... | 200         | 23             | 77             | 48             | 27             | 25             | 2,667 | 1,22 | 3,25 | 51            | 29         | 12         | 0          |
| C <sub>27</sub> ..... | 200         | 26             | 84             | 57             | 21             | 12             | 2,459 | 0,92 | 2,3  | 67            | 25         | 6          | 2          |
| C <sub>25</sub> ..... | 200         | 48             | 88             | 38             | 17             | 9              | 2,191 | 0,95 | 2,1  | 52            | 26         | 12         | 6          |
| C <sub>24</sub> ..... | 200         | 33             | 90             | 53             | 17             | 7              | 2,303 | 0,81 | 1,9  | 71            | 24         | 4          | 0          |

| TABLEAU<br>INFLUENCE DE LA DUREE |     |    |    |    |    |    |       |      |      |    |    |    |   |
|----------------------------------|-----|----|----|----|----|----|-------|------|------|----|----|----|---|
| C <sub>23</sub> .....            | 200 | 17 | 69 | 64 | 41 | 9  | 2,676 | 0,88 | 2,35 | 6  | 32 | 0  | 0 |
| C <sub>22</sub> .....            | 200 | 21 | 71 | 54 | 30 | 24 | 2,78  | 1,18 | 3,2  | 36 | 34 | 24 | 4 |
| C <sub>21</sub> .....            | 200 | 27 | 80 | 51 | 22 | 20 | 2,547 | 1,13 | 2,9  | 26 | 52 | 12 | 6 |
| C <sub>20</sub> .....            | 200 | 20 | 64 | 66 | 29 | 21 | 2,722 | 1,08 | 2,9  | 19 | 36 | 34 | 5 |
| C <sub>21</sub> .....            | 200 | 17 | 58 | 66 | 32 | 27 | 2,862 | 1,14 | 3,25 | 22 | 56 | 12 | 6 |

Rep. = Repère.

N = nombre total de grains traités.

n<sub>1</sub>, n<sub>2</sub>, ... n<sub>5</sub> = Nombre de grains enregistrés par chaque compteur.

X = dureté moyenne.

S = coefficient de dispersion.

o-p = zéro à pointe diaphane.

1/4-1/3, 1/3-2/3... grain 1/4 à 1/3, 1/3 à 2/3... diaphane.

D = indice de diaphanoscope.

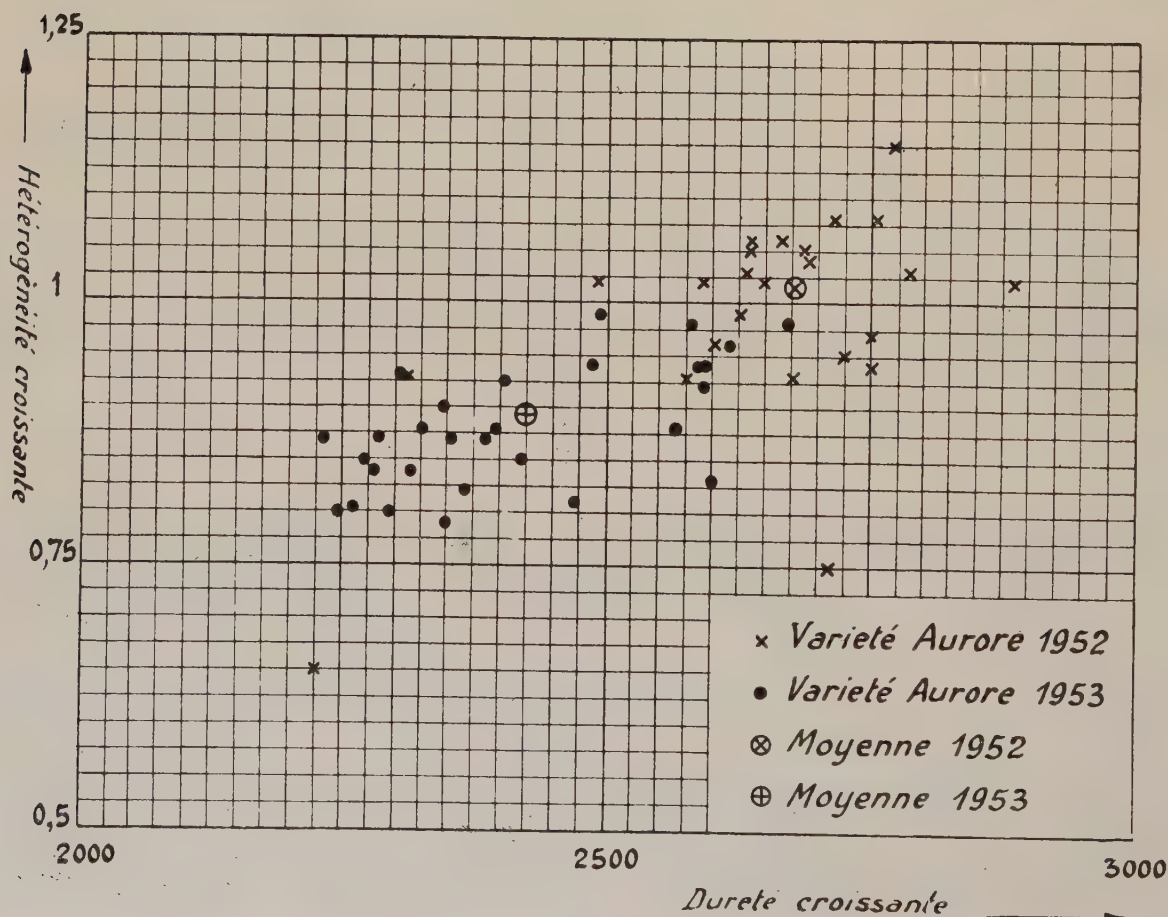


Fig. 13

# VI DE LA GERMINATION

| I | D    | PLUMULE |          |            |          |    |       | TREMPE |       |                       | GERMINATION |      |                       |
|---|------|---------|----------|------------|----------|----|-------|--------|-------|-----------------------|-------------|------|-----------------------|
|   |      | O       | 0<br>1/2 | 1/2<br>3/4 | 3/4<br>I | I  | P     | H      | °C    | H <sub>2</sub> O<br>% | J           | °C   | H <sub>2</sub> O<br>% |
| 6 | 8,6  | 6       | 14       | 72         | 8        | 0  | 22,52 | 66     | 14,2  | 50,9                  | 2           | 15   | 47,7                  |
| 8 | 6,68 | 12      | 8        | 26         | 32       | 22 | 18,31 | 66     | 13,9  | 50,0                  | 4           | 15   | 48,6                  |
| 0 | 4,82 | 2       | 9        | 28         | 45       | 16 | 16,64 | 66     | 13,9  | 53,1                  | 6           | 15   | 44,5                  |
| 4 | 6,38 | 2       | 0        | 22         | 40       | 36 | 14,74 | 66     | 14,0  | 53,1                  | 8           | 15   | 42,7                  |
| 1 | 4,50 | 2       | 4        | 10         | 40       | 44 | 14,49 | 66     | 14,17 | 53,4                  | 10          | 15,4 | 42,3                  |

## VII DE LA TREMPE

|   |      |    |    |    |    |    |       |    |      |      |   |      |      |
|---|------|----|----|----|----|----|-------|----|------|------|---|------|------|
| 2 | 4,64 | 2  | 4  | 10 | 40 | 42 | 14,84 | 66 | 13,6 | 50,7 | 8 | 14,9 | 40,7 |
| 2 | 7,44 | 10 | 50 | 40 | 0  | 0  | 33,33 | 44 | 13,9 | 39,6 | 8 | 14,9 | 32,7 |
| 4 | 7,72 | 5  | 39 | 51 | 4  | 0  | 27,70 | 44 | 13,9 | 39,5 | 8 | 15   | 31,7 |
| 2 | 8,72 | 2  | 53 | 44 | 1  | 0  | 30,03 | 44 | 12,5 | 36,3 | 8 | 12,6 | 32,2 |
| 4 | 7,88 | 8  | 58 | 34 | 0  | 0  | 34,96 | 44 | 13,1 | 42,7 | 8 | 13,1 | 37,9 |

0, 0-1/2, ... dimension de la plumule rapportée à la longueur totale du grain.

P = indice de pousse.

H = durée de trempe en heures.

°C = température moyenne de l'eau de trempe.

H<sub>2</sub>O = pourcentage d'eau absorbée obtenu par pesée.

J = nombre de jours de germination.

°C et H<sub>2</sub>O : voir ci-dessus.

### e) Influence d'une trempe insuffisante sur la désagrégation :

Au cours d'une deuxième série d'essais, en micromaltage, nous avons cherché à nous rendre compte de l'influence d'une trempe insuffisante sur la désagrégation contrôlée au scléromètre.

Les résultats sont rassemblés dans le tableau VII.

L'échantillon C<sub>22</sub> a été trempé et germé dans les conditions normales. Les autres échantillons ont été fortement sous trempés.

A l'examen de ce tableau, nous pouvons constater que :

1) une élévation importante du *coefficient de cohésion* de 2,35 à 3 en moyenne, malgré des duretés sensiblement identiques. La dispersion est très fortement augmentée. Les germes souffrent du manque d'eau, ce qui accuse les différences d'activité vitale.

Or, la *pousse* est homogène, bien que très insuffisante (90 % des grains sont rassemblés dans deux catégories voisines).

2) les indications du *diaphanoscope* suivent, dans ce cas, assez bien celles du scléromètre.

3) la température moyenne de germination ayant varié de 12,6 à 15 suivant les échantillons, il ne semble pas que ce facteur ait une influence sensible sur les conséquences d'une trempe insuffisante.

Ces résultats sont confirmés par les essais effectués sur diverses variétés dont les résultats ont groupés sur le tableau VIII.

Nous constatons sur la deuxième partie de ce tableau (variétés : Aurore, Bethge, Rika et Haïsa II) que, à des degrés divers, les mêmes phénomènes se reproduisent.

L'orge Carlsberg II a un comportement anormal. Nous reparlerons de ces divers essais dans le prochain chapitre.

### f) Influence variétale :

L'examen du tableau VIII nous amène à penser que le scléromètre est susceptible, sous certaines conditions, de déceler les qualités variétales.

En effet, jusqu'à présent, nous avons surtout comparé les indications données par l'appareil avec des malts obtenus à partir d'une seule et même variété. Or, il est logique de penser que des orges diverses, maltées dans des conditions identiques doivent donner des résultats variant suivant leur plus ou moins grande aptitude à la désagrégation.

Les orges « Balder » et « Kenia », par exemple, travaillées de façon identique (échantillons C<sub>4</sub>, C<sub>6</sub>, C<sub>8</sub> et C<sub>10</sub> du tableau VIII) donnent des malts de dureté sensiblement identique, mais dont l'homogénéité diffère dans des proportions importantes (Balder C<sub>4</sub> : s = 1,04 ; C<sub>6</sub> : s = 1,12 ; Kenia C<sub>6</sub> : s = 0,79 ; C<sub>10</sub> : s = 0,88). Il en résulte une différence sensible dans les coefficients de désagrégation moyens : 2,9 pour « Balder » et 2,2, pour « Kenia ».

Le fait d'augmenter la température de germination d'environ 6° C, ce qui revient à activer les phénomènes vitaux, entraîne pour la variété « Balder » un complément important de désagrégation. Il en résulte une diminution du coefficient de dispersion. L'orge « Kenia », au contraire, donne un malt identique aux témoins. La pousse s'est poursuivie plus loin, mais la désagrégation, qui avait déjà précédemment atteint son maximum, ne varie plus. Les phénomènes diastasiques de solubilisation des réserves s'activent entraînant un « forçage ».

Nous déduisons donc de cet essai que l'orge « Kenia » se désagrège beaucoup plus facilement que l'orge « Balder ». Industriellement, la germination de cette dernière variété devra donc être beaucoup plus poussée pour obtenir un malt de qualité identique à celui que donnerait l'autre variété.

Des divers essais rassemblés sur la deuxième partie du tableau VIII, nous avons déjà remarqué qu'une trempe insuffisante se traduit généralement par une augmentation importante du coefficient de désagrégation. Cependant, là encore l'influence variétale se fait sentir.

L'orge Carsberg II (C<sub>4</sub>M<sub>4</sub> et C<sub>14</sub>M<sub>4</sub>) traitée dans des conditions identiques aux autres échantillons, donne un malt extrêmement dur et hétérogène. Il y aurait lieu de conduire la germination d'une façon toute différente pour obtenir une désagrégation correcte.

*Remarque :* l'échantillon C<sub>21</sub>M<sub>4</sub>, sous trempé, a une dureté extraordinaire. La plus grosse partie des grains se trouvant rassemblée sur le dernier compteur, la dispersion est très faible. L'indice obtenu n'a plus aucune signification.

Pour contrôler un tel malt, il y aurait lieu d'utiliser un ressort plus puissant correspondant à la dureté moyenne.

Parallèlement à la variété, les conditions climatiques influent également sur l'aptitude à la désagrégation. Nous donnons, sur les tableaux IX et X, l'ensemble des résultats obtenus à partir de la même orge Aurore, maltée dans des conditions aussi identiques que possible, mais provenant respectivement des récoltes 1952 et 1953.

Pour plus de facilité, nous avons groupé ces chiffres sur un graphique dont les coordonnées représentent la dureté X et l'homogénéité s (fig. 13). Nous y voyons apparaître deux nuages distincts, montrant nettement que l'orge de l'année 1953 donne naissance à un malt plus homogène et plus tendre que celle de 1952.

TABLEAU  
INFLUENCE DE LA DURETÉ  
SUR L'INDICE  
Variété

| Variétés     | Références                     | SCLEROMETRE |    |    |    |    |       |      |      | DIAPHANOSCOPE |            |            |            |
|--------------|--------------------------------|-------------|----|----|----|----|-------|------|------|---------------|------------|------------|------------|
|              |                                | 1           | 2  | 3  | 4  | 5  | X     | s    | X.s  | o-p           | 1/4<br>1/3 | 1/2<br>1/3 | 2/3<br>3/4 |
| Balder ....  | C <sub>4</sub> M <sub>3</sub>  | 18          | 59 | 69 | 34 | 20 | 2,783 | 1,04 | 2,9  | 12            | 65         | 19         | 2          |
|              | C <sub>6</sub> M <sub>3</sub>  | 34          | 54 | 61 | 38 | 13 | 2,612 | 1,12 | 2,9  | 16            | 65         | 15         | 2          |
|              | C <sub>28</sub>                | 12          | 61 | 77 | 35 | 15 | 2,787 | 0,79 | 2,2  | 29            | 36         | 12         | 12         |
| Kénia .....  | C <sub>5</sub> M <sub>4</sub>  | 15          | 79 | 66 | 32 | 8  | 2,598 | 0,79 | 2,05 | 12            | 60         | 16         | 6          |
|              | C <sub>12</sub> M <sub>4</sub> | 16          | 75 | 62 | 36 | 11 | 2,653 | 0,88 | 2,3  | 20            | 68         | 4          | 2          |
|              | C <sub>28</sub>                | 14          | 63 | 74 | 35 | 14 | 2,750 | 0,88 | 2,4  | 47            | 37         | 12         | 2          |
| Aurore ....  | C <sub>6</sub> M <sub>4</sub>  | 33          | 69 | 50 | 37 | 11 | 2,528 | 1,08 | 2,8  | 13            | 59         | 18         | 4          |
|              | C <sub>11</sub> M <sub>4</sub> | 25          | 78 | 61 | 26 | 10 | 2,501 | 0,90 | 2,3  | 18            | 68         | 10         | 4          |
|              | C <sub>20</sub>                | 13          | 53 | 63 | 46 | 25 | 2,959 | 1,07 | 3,2  | 8             | 53         | 35         | 4          |
| Bethge XIII  | C <sub>8</sub> M <sub>3</sub>  | 16          | 64 | 60 | 44 | 16 | 2,787 | 0,93 | 2,6  | 24            | 60         | 12         | 4          |
|              | C <sub>12</sub> M <sub>3</sub> | 10          | 55 | 72 | 49 | 14 | 2,889 | 0,85 | 2,5  | 18            | 60         | 12         | 4          |
|              | C <sub>20</sub>                | 9           | 36 | 69 | 58 | 28 | 3,157 | 0,96 | 3,0  | 8             | 71         | 21         | 0          |
| Roka .....   | C <sub>8</sub> M <sub>4</sub>  | 20          | 54 | 64 | 43 | 19 | 2,820 | 1,08 | 3,0  | 18            | 62         | 14         | 2          |
|              | C <sub>8</sub> M <sub>4</sub>  | 19          | 54 | 68 | 39 | 20 | 2,820 | 1,06 | 3,0  | 20            | 52         | 18         | 6          |
|              | C <sub>12</sub> M <sub>4</sub> | 9           | 50 | 73 | 45 | 23 | 2,986 | 0,95 | 2,8  | 7             | 79         | 6          | 4          |
|              | C <sub>20</sub>                | 7           | 23 | 72 | 55 | 43 | 3,361 | 0,96 | 3,2  | 14            | 19         | 38         | 21         |
| Haïsa II ..  | C <sub>5</sub> M <sub>4</sub>  | 13          | 54 | 70 | 42 | 21 | 2,898 | 1,0  | 2,9  | 10            | 72         | 14         | 4          |
|              | C <sub>10</sub> M <sub>4</sub> | 15          | 61 | 61 | 42 | 21 | 2,848 | 1,05 | 3,0  | 9             | 75         | 8          | 2          |
|              | C <sub>21</sub>                | 11          | 43 | 56 | 50 | 40 | 3,181 | 1,18 | 3,8  | 6             | 56         | 26         | 8          |
| Carsberg II. | C <sub>4</sub> M <sub>4</sub>  | 11          | 20 | 29 | 48 | 92 | 3,759 | 1,28 | 4,8  | 6             | 41         | 37         | 8          |
|              | C <sub>14</sub> M <sub>4</sub> | 9           | 20 | 49 | 40 | 82 | 3,648 | 1,22 | 4,5  | 4             | 48         | 36         | 8          |
|              | C <sub>21</sub>                | 4           | 11 | 31 | 50 | 34 | 3,985 | 0,89 | 3,5  | 6             | 56         | 26         | 8          |

En effet, les points moyens de ces deux échantillons sont :

$$\begin{array}{ll} \text{pour 1952} & \dots \quad \bar{X} = 2,676 \quad \bar{s} = 1,015 \\ \text{pour 1953} & \dots \quad \bar{X} = 2,422 \quad \bar{s} = 0,893 \end{array}$$

Si l'on calcule l'écart type relatif à la distribution des duretés moyennes pour l'ensemble des échantillons des deux groupes, on obtient :

$$\sigma = 0,074.$$

$$\text{Le rapport } \frac{\bar{X} - \bar{X}'}{\sigma \sqrt{2}} = 2,4 \text{ est significatif, alors que celui correspondant à la dispersion } \frac{s - s'}{\sigma} = 1,65$$

bien que n'excédant pas le seuil de signification que nous avons adopté (1,96 pour 5 %), correspond à un écart n'ayant que dix chances sur cent d'être dépassé.

Nous pouvons donc dire que l'orge Aurore 1953 donne un malt nettement plus tendre et sensiblement plus homogène que l'Aurore 1952.

Nous pensons poursuivre cette étude sur la plus au moins grande aptitude des orges à la désagrégation. Nous désirons mettre au point une méthode simple et rapide de détermination des conditions idéales de germination permettant d'obtenir le meilleur malt que chaque orge est susceptible de donner. Le travail du malteur se trouvera ainsi considérablement simplifié car la méthode fixera le diagramme optimum de fabrication, évitant ainsi bien des tâtonnements et des pertes de temps.

#### g) Essai industriel :

Au cours de la campagne 1944-1945, nous avons contrôlé les échantillons de la plus grande partie des malts fabriqués par une malterie française (20).

### TEMPE ET DE LA TEMPERATURE AGREGATION

rses

| 1  | D     | PLUMULE |          |            |            |     |       | TREMPE |      |      | GERMINATION |      |      |
|----|-------|---------|----------|------------|------------|-----|-------|--------|------|------|-------------|------|------|
|    |       | 0       | 0<br>1/2 | 1/3<br>3/4 | 3/4<br>+ 1 | + 1 | P     | h      | °C   | eau  | J           | °C   | eau  |
| 2  | 7,95  | 2       | 6        | 16         | 52         | 24  | 15,43 | 66     | 11,8 | 57,2 | 8           | 12   | 50,9 |
| 2  | 7,59  | 2       | 4        | 16         | 70         | 8   | 15,58 | 66     | 11,8 | 55,5 | 8           | 11,8 | 49,3 |
| 11 | 9,18  | 0       | 2        | 2          | 6          | 90  | 12,89 | 66     | 16,4 | 54,1 | 7           | 17,6 | 48,1 |
| 6  | 8,79  | 0       | 2        | 24         | 68         | 6   | 15,92 | 66     | 11,6 | 55,3 | 8           | 11,9 | 49,1 |
| 6  | 7,44  | 2       | 0        | 18         | 72         | 8   | 15,2  | 66     | 11,9 | 54,5 | 8           | 11,8 | 49,3 |
| 4  | 6,61  | 2       | 0        | 0          | 6          | 92  | 12,85 | 66     | 16,4 | 58,8 | 7           | 17,8 | 49,8 |
| 6  | 8,42  | 0       | 0        | 22         | 74         | 4   | 15,15 | 66     | 12   | 56,9 | 8           | 11,9 | 50,9 |
| 0  | 7,18  | 0       | 2        | 42         | 52         | 4   | 16,39 | 66     | 11,7 | 56,8 | 8           | 12   | 50,9 |
| 0  | 8,83  | 0       | 12       | 84         | 4          | 0   | 21,19 | 44     | 12,5 | 54,5 | 8           | 12,9 | 48,6 |
| 0  | 7,04  | 6       | 6        | 4          | 28         | 56  | 14,79 | 66     | 11,6 | 51,4 | 8           | 11,8 | 44,9 |
| 6  | 8,12  | 2       | 2        | 4          | 58         | 34  | 14,24 | 66     | 11,7 | 51,3 | 8           | 11,8 | 46   |
| 0  | 7,73  | 0       | 18       | 50         | 30         | 2   | 19,53 | 44     | 12,5 | 48,6 | 8           | 12,8 | 42,7 |
| 4  | 7,74  | 0       | 8        | 8          | 74         | 10  | 15,29 | 66     | 11,6 | 50   | 8           | 11,6 | 44   |
| 4  | 7,58  | 0       | 16       | 10         | 56         | 18  | 16,18 | 66     | 11,6 | 52,7 | 8           | 11,9 | 46,9 |
| 4  | 7,98  | 0       | 20       | 10         | 62         | 8   | 17,01 | 66     | 11,7 | 50   | 8           | 11,8 | 45,8 |
| 8  | 11,56 | 0       | 44       | 56         | 0          | 0   | 21,17 | 44     | 12,5 | 43,6 | 8           | 12,8 | 39   |
| 0  | 7,70  | 0       | 8        | 6          | 38         | 48  | 14,37 | 66     | 11,6 | 54   | 8           | 12   | 47,5 |
| 6  | 8,08  | 4       | 12       | 0          | 56         | 28  | 15,62 | 66     | 11,9 | 56,9 | 8           | 11,8 | 49,2 |
| 4  | 9,42  | 0       | 14       | 36         | 48         | 2   | 17,06 | 44     | 13,1 | 50,8 | 8           | 13,1 | 44,2 |
| 8  | 10,53 | 2       | 10       | 4          | 48         | 36  | 15,06 | 66     | 11,8 | 55,6 | 8           | 11,9 | 51,2 |
| 8  | 10,00 | 6       | 8        | 10         | 50         | 26  | 19,08 | 66     | 11,8 | 56,3 | 8           | 12   | 50,4 |
| 4  | 9,42  | 8       | 6        | 30         | 50         | 6   | 17,86 | 44     | 13,1 | 51,8 | 8           | 13,1 | 45,6 |

TABLEAU IX

## MALTS AURORE 1952

Classement par ordre de dureté croissante

| REPERE                               | n   | n <sub>1</sub> | n <sub>2</sub> | n <sub>3</sub> | n <sub>4</sub> | n <sub>5</sub> | X     | s     | X.s |
|--------------------------------------|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|-------|-----|
| C <sub>9</sub> M <sub>1</sub> .....  | 200 | 41             | 80             | 49             | 21             |                | 2,311 | 0,93  | 2,1 |
| C <sub>11</sub> M <sub>4</sub> ..... | 200 | 31             | 78             | 45             | 36             | 10             | 2,491 | 1,02  | 2,5 |
| C <sub>10</sub> M <sub>1</sub> ..... | 200 | 18             | 84             | 51             | 40             | 72             | 2,575 | 0,93  | 2,4 |
| C <sub>19</sub> M <sub>1</sub> ..... | 200 | 17             | 83             | 59             | 31             | 10             | 2,575 | 0,93  | 2,4 |
| C <sub>14</sub> M <sub>1</sub> ..... | 200 | 24             | 73             | 72             | 24             | 17             | 2,589 | 1,02  | 2,6 |
| C <sub>15</sub> M <sub>1</sub> ..... | 200 | 20             | 74             | 66             | 26             | 14             | 2,602 | 0,96  | 2,5 |
| C <sub>1</sub> M <sub>3</sub> .....  | 200 | 18             | 80             | 57             | 29             | 16             | 2,626 | 0,99  | 2,6 |
| C <sub>2</sub> M <sub>4</sub> .....  | 200 | 24             | 70             | 59             | 30             | 17             | 2,630 | 1,03  | 2,7 |
| C <sub>1</sub> M <sub>1</sub> .....  | 400 | 51             | 140            | 110            | 61             | 38             | 2,637 | 1,06  | 2,8 |
| C <sub>7</sub> M <sub>1</sub> .....  | 200 | 24             | 73             | 53             | 32             | 18             | 2,637 | 1,05  | 2,8 |
| C <sub>4</sub> M <sub>1</sub> .....  | 200 | 19             | 77             | 57             | 29             | 18             | 2,649 | 1,02  | 2,7 |
| C <sub>1</sub> M <sub>2</sub> .....  | 200 | 23             | 72             | 55             | 29             | 21             | 2,663 | 1,06  | 2,8 |
| C <sub>22</sub> M <sub>1</sub> ..... | 200 | 17             | 69             | 64             | 41             | 9              | 2,676 | 0,93  | 2,5 |
| C <sub>5</sub> M <sub>1</sub> .....  | 200 | 16             | 78             | 57             | 30             | 19             | 2,687 | 1,05  | 2,8 |
| C <sub>2</sub> M <sub>2</sub> .....  | 200 | 25             | 60             | 62             | 37             | 16             | 2,690 | 1,04  | 2,8 |
| C <sub>1</sub> M <sub>4</sub> .....  | 200 | 14             | 69             | 60             | 36             | 12             | 2,709 | 0,75  | 2,0 |
| C <sub>8</sub> M <sub>1</sub> .....  | 200 | 27             | 57             | 62             | 33             | 21             | 2,714 | 1,08  | 2,9 |
| C <sub>17</sub> M <sub>1</sub> ..... | 200 | 13             | 78             | 56             | 36             | 17             | 2,723 | 0,95  | 2,6 |
| C <sub>6</sub> M <sub>1</sub> .....  | 200 | 12             | 73             | 63             | 35             | 17             | 2,750 | 0,97  | 2,7 |
| C <sub>12</sub> M <sub>1</sub> ..... | 200 | 12             | 67             | 75             | 29             | 17             | 2,750 | 0,94  | 2,6 |
| C <sub>13</sub> M <sub>1</sub> ..... | 200 | 22             | 62             | 61             | 31             | 24             | 2,755 | 1,08  | 3,0 |
| C <sub>2</sub> M <sub>1</sub> .....  | 200 | 22             | 71             | 47             | 29             | 31             | 2,769 | 1,15  | 3,2 |
| C <sub>3</sub> M <sub>1</sub> .....  | 200 | 20             | 57             | 68             | 35             | 20             | 2,778 | 1,03  | 2,9 |
| C <sub>2</sub> M <sub>3</sub> .....  | 200 | 13             | 59             | 65             | 40             | 23             | 2,885 | 1,02  | 3,0 |
| Moyenne .....                        | 100 | 9,9            | 35,5           | 29,7           | 16,4           | 8,5            | 2,676 | 1,015 | 2,7 |

Deux variétés ont surtout été traitées :

- l'une Busser, en provenance du Gâtinais, (fig. 14) ;
- l'autre Aurore cultivée dans la région de l'Indre (fig. 15).

La première a été maltée sans apporter de modifications importantes aux diagrammes de fabrication. La température du germeoir a oscillé entre 16 et 10 °C jusqu'à la couche 25 incluse, puis portée à 20 °C, ce qui a entraîné une très légère amélioration.

L'autre variété a été traitée en deux séries : le malt, obtenu dans la première série a été germé au début (couches 35 à 39) dans des conditions sensiblement identiques aux dernières couches précédentes : trempage 48 heures — trois arrosages — température du germeoir 20 °C.

Des couches 39 à 47, la durée du trempage a été portée à 54 heures, tout en maintenant les trois arrosages. On constate une nette diminution de la dureté, mais une hétérogénéité élevée.

Entre les couches 48 et 66, la trempage a été maintenue 54 heures, mais avec débordement continu de la cuve pendant les périodes sous eau. On constate une très nette amélioration de la désagrégation, sauf pour la couche 58. N'ayant pas eu d'échantillon des couches 59 à 66, nous ne pouvons expliquer le relèvement de la courbe qui peut être dû exclusivement à un accident de fabrication sur la couche 58.

La couche 67 a été germée à 19 °C en opérant quatre arrosages.

La couche 70 a été reprise, dans les conditions précédentes.

La deuxième série, portant sur les couches 96 à 140 a été germée neuf jours, soit un jour de plus, avec la même méthode de trempage que celle adoptée à partir de la couche 48.

La température de germination de la couche 96 a été portée à 18 °C. Constatant une tendance au forçage, le malteur a amené la température au germeoir autour de 17 °C pour les couches suivantes, ce qui a entraîné un relèvement de la dureté.

Nous ne pouvons expliquer les variations intenses constatées pour les couches 122-123 et 125, ne connaissant pas les détails journaliers de fabrication.

(20) Nous tenons à remercier la direction de cette usine qui nous a communiqué et permis de publier les renseignements que nous donnons ici.

TABLEAU X

## MALTS AURORE 1953

Classement par ordre de dureté croissante

| REPÈRE                   | n   | n <sub>1</sub> | n <sub>2</sub> | n <sub>3</sub> | n <sub>4</sub> | n <sub>5</sub> | X     | s     | X . s |
|--------------------------|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|-------|-------|
| C <sub>6</sub> ..... II  | 200 | 42             | 79             | 58             | 19             | 2              | 2,231 | 0,87  | 1,9   |
| C <sub>6</sub> ..... I   | 200 | 32             | 95             | 53             | 19             | 1              | 2,242 | 0,80  | 1,8   |
| C <sub>8</sub> ..... I   | 200 | 23             | 89             | 69             | 15             | 4              | 2,262 | 0,805 | 1,8   |
| C <sub>9</sub> ..... I   | 200 | 35             | 85             | 61             | 15             | 4              | 2,269 | 0,85  | 1,9   |
| C <sub>1</sub> ..... IV  | 200 | 23             | 92             | 58             | 24             | 3              | 2,280 | 0,84  | 1,9   |
| C <sub>18</sub> ..... I  | 200 | 37             | 80             | 61             | 19             | 3              | 2,283 | 0,87  | 2,0   |
| C <sub>18</sub> ..... I  | 200 | 33             | 78             | 71             | 18             | 0              | 2,296 | 0,80  | 1,8   |
| C <sub>20</sub> ..... I  | 200 | 33             | 93             | 48             | 17             | 9              | 2,306 | 0,93  | 2,1   |
| C <sub>8</sub> ..... I   | 200 | 29             | 88             | 65             | 12             | 6              | 2,315 | 0,84  | 1,9   |
| C <sub>17</sub> ..... I  | 200 | 34             | 80             | 62             | 20             | 4              | 2,326 | 0,85  | 2,0   |
| C <sub>11</sub> ..... I  | 200 | 32             | 84             | 58             | 20             | 6              | 2,344 | 0,90  | 2,1   |
| C <sub>7</sub> ..... I   | 200 | 25             | 85             | 74             | 12             | 4              | 2,349 | 0,79  | 1,9   |
| C <sub>19</sub> ..... I  | 200 | 31             | 85             | 51             | 33             | 0              | 2,353 | 0,87  | 2,0   |
| C <sub>4</sub> ..... I   | 200 | 28             | 82             | 75             | 11             | 6              | 2,367 | 0,82  | 1,9   |
| C <sub>3</sub> ..... I   | 200 | 28             | 80             | 69             | 17             | 6              | 2,385 | 0,87  | 2,1   |
| C <sub>21</sub> ..... I  | 200 | 30             | 75             | 72             | 16             | 7              | 2,395 | 0,88  | 2,1   |
| C <sub>10</sub> ..... II | 200 | 32             | 77             | 60             | 25             | 6              | 2,402 | 0,925 | 2,2   |
| C <sub>16</sub> ..... I  | 200 | 25             | 80             | 69             | 22             | 4              | 2,419 | 0,85  | 2,1   |
| C <sub>12</sub> ..... I  | 200 | 20             | 79             | 75             | 22             | 4              | 2,469 | 0,81  | 2,0   |
| C <sub>23</sub> ..... I  | 200 | 24             | 83             | 58             | 25             | 10             | 2,485 | 0,94  | 2,3   |
| C <sub>8</sub> ..... II  | 200 | 32             | 68             | 63             | 26             | 11             | 2,492 | 0,99  | 2,5   |
| C <sub>10</sub> ..... I  | 200 | 18             | 80             | 67             | 22             | 13             | 2,566 | 0,88  | 2,3   |
| C <sub>4</sub> ..... II  | 200 | 26             | 68             | 63             | 31             | 12             | 2,581 | 0,98  | 2,5   |
| C <sub>2</sub> ..... I   | 200 | 18             | 74             | 70             | 30             | 8              | 2,534 | 0,94  | 2,4   |
| C <sub>22</sub> ..... I  | 200 | 19             | 72             | 73             | 25             | 10             | 2,591 | 0,87  | 2,3   |
| C <sub>14</sub> ..... I  | 200 | 23             | 65             | 73             | 29             | 10             | 2,593 | 0,94  | 2,9   |
| C <sub>2</sub> ..... II  | 200 | 12             | 79             | 72             | 32             | 5              | 2,598 | 0,83  | 2,2   |
| C <sub>13</sub> ..... I  | 200 | 19             | 73             | 66             | 28             | 14             | 2,626 | 0,96  | 2,5   |
| C <sub>2</sub> ..... III | 200 | 15             | 79             | 58             | 32             | 16             | 2,671 | 0,98  | 2,6   |
|                          | 100 | 13,38          | 40,12          | 32,27          | 10,97          | 3,26           | 2,422 | 0,893 | 2,2   |

Les autres variations, de plus petite envergure, sont explicables :

d'une part par les imprécisions de l'échantillonnage,

d'autre part par les oscillations des températures de germination au sein de la couche, difficiles à contrôler et à régler d'une façon rigoureuse.

Cet exemple montre qu'il est possible de conduire une fabrication en utilisant le scléromètre comme moyen de contrôle.

Nous pouvons constater que le meilleur diagramme a été obtenu après bien des tâtonnements. C'est pour cette raison que nous attachons beaucoup d'importance à la recherche d'une détermination « a priori » des conditions optimum de fabrication, et dont nous avons parlé au chapitre précédent.

••

## CONCLUSIONS

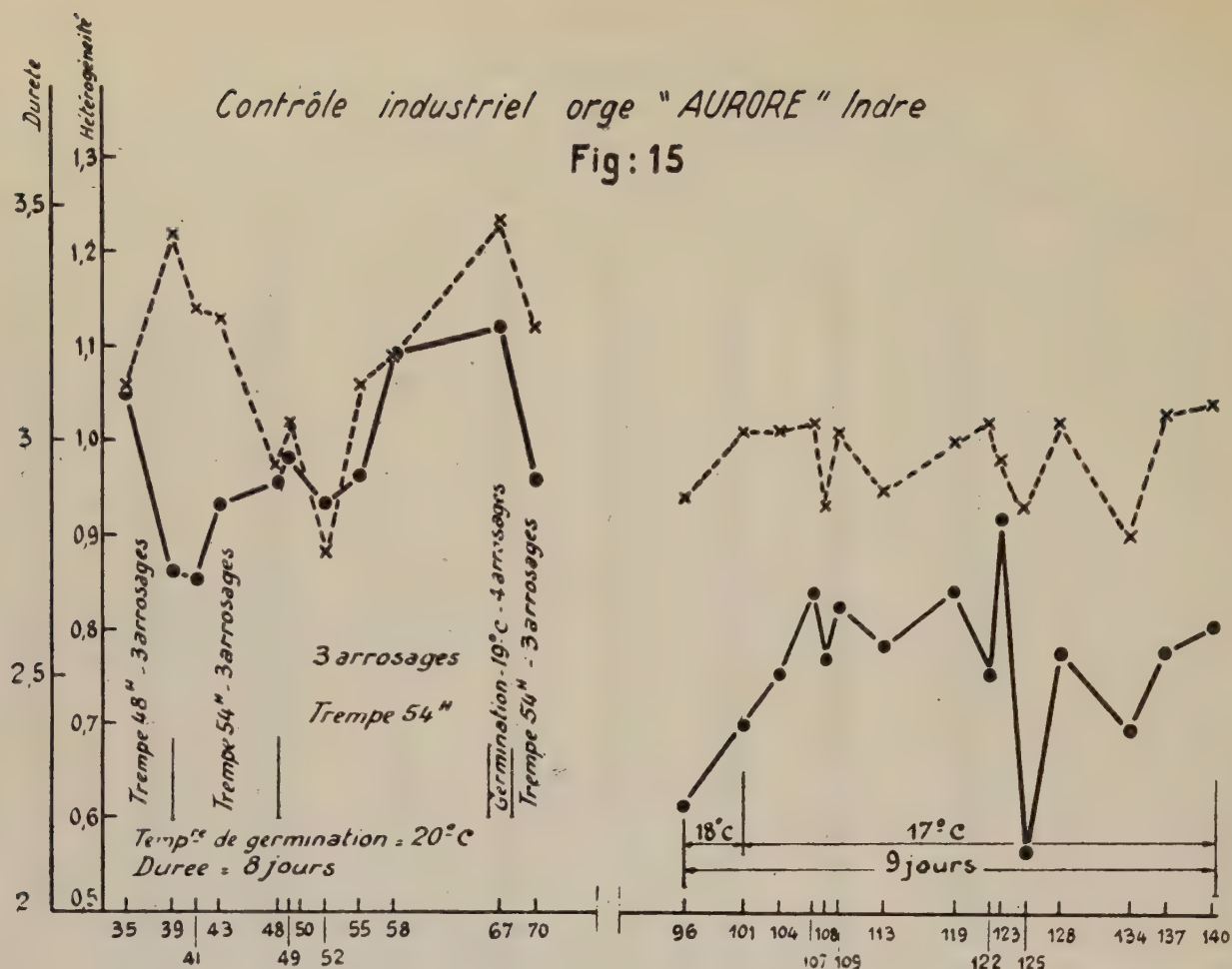
Le Scléromètre est un appareil destiné à déterminer à la fois la dureté moyenne et l'homogénéité des échantillons qui lui sont soumis.

Les résultats sont parfaitement reproductibles, dans la limite bien entendu, des erreurs d'échantillonnage que l'on peut normalement attendre en ne traitant que deux cents grains. Le calcul statistique démontre, et la pratique confirme, que la précision de la mesure est ainsi de l'ordre de 5 %, pour 200 grains.

L'originalité de cet appareil vient de ce qu'il permet la détermination d'un indice d'hétérogénéité.

# Contrôle industriel orge "AURORE" Indre

Fig: 15



Or, nous avons vu qu'il est important, pour les opérations de brassage, que la désagrégation soit aussi complète que possible et ceci, bien entendu, pour l'ensemble des grains mis en œuvre.

Le malteur doit donc porter toute son attention sur la régularité de la germination. Le contrôle de la longueur de la plumule n'est pas un critère suffisant. En effet, une trempe mal conduite, amenant soit une humidité insuffisante, soit une asphyxie partielle de l'embryon, entraîne des irrégularités de désagrégation difficiles à corriger par la suite et incontrôlables par un simple examen de la pousse. La durée et la température de germination jouent également un rôle extrêmement important.

Entre deux malts présentant une dureté moyenne identique, il est infiniment préférable pour le brasseur d'utiliser celui dont l'hétérogénéité est la plus faible. Les deux années d'expérience que nous possédons, portant sur plus de sept cents échantillons passés au Scléromètre, nous permettent d'affirmer qu'il faut attacher largement autant d'importance à l'homogénéité qu'à la dureté. Pratiquement d'ailleurs, ces deux grandeurs sont souvent de pair et l'on remarque qu'un échantillon très tendre (dureté 2,0 à 2,2) est très généralement homogène ( $s = 0,5$  à  $0,7$ ) ; alors qu'un échantillon très dur — (dureté 3,3 à 3,5) est presque toujours hétérogène ( $s = 1,1$  à  $1,3$ ).

Actuellement, le malteur n'a, à sa disposition, aucun appareillage lui permettant de déterminer autrement que par des tâtonnements en cours de fabrication, les conditions optima de germination. Celles-ci changent d'ailleurs d'une variété à l'autre, et pour une même variété, suivant les années.

Le Scléromètre n'exige qu'un échantillon très réduit de quatre à cinq cents grains. Il semble donc possible de mettre au point une méthode simple de laboratoire, destinée à déterminer, « a priori », les conditions idéales de travail donnant la meilleure désagrégation possible avec chaque variété, sans pour cela atteindre le forçage. Le malteur éviterait ainsi bien des tâtonnements, des pertes de temps et d'argent.

C'est ce que nous nous proposons de rechercher à la suite de ce travail qui avait essentiellement pour but l'étude de la création d'un appareil nouveau, destiné à connaître et à chiffrer objectivement l'état de l'amande des malts.

DEUXIEME THESE

*Proposition donnée par la Faculté*

# LES ULTRASONS ET LEURS APPLICATIONS EN BRASSERIE

---

VU ET PERMIS D'IMPRIMER

NANCY, le 7 juin 1955

*Le Recteur,  
Président du Conseil  
de l'Université,*

G. MAYER.

VU ET APPROUVÉ

NANCY, le 6 juin 1955

*Le Doyen  
de la Faculté  
des Sciences,*

E. URION.

# TABLE DES MATIÈRES

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| DESAGREGATION D'UN GRAIN DE MALT .....                                                       | 11 |
| DIFFERENTES METHODES D'APPRECIATION DE LA DESAGREGATION.                                     |    |
| A. — METHODES CHIMIQUES .....                                                                | 12 |
| a) <i>Extrait obtenu dans diverses conditions</i> .....                                      | 12 |
| Différences obtenues avec une farine fine et une farine grossière .....                      | 12 |
| Comparaison des mouts obtenus par infusion et décoction ..                                   | 12 |
| Extrait à l'eau froide .....                                                                 | 12 |
| Méthode Hartong .....                                                                        | 12 |
| b) <i>Taux de protéolyse</i> .....                                                           | 13 |
| Indice Kolbach .....                                                                         | 13 |
| « Azote formol » .....                                                                       | 13 |
| Méthode Lundin .....                                                                         | 13 |
| Dosage de l'Hordéine .....                                                                   | 13 |
| B. — VISCOSITE DU MOUT D'ANALYSE .....                                                       | 14 |
| C. — METHODES MECANIQUE ET PHYSIQUE .....                                                    | 14 |
| a) <i>Longueur de la plumule</i> .....                                                       | 14 |
| b) <i>Essais de plongeurs-nageurs</i> .....                                                  | 14 |
| c) <i>Appréciation de la vitrosité</i> .....                                                 | 14 |
| d) <i>Epreuve à la dent</i> .....                                                            | 15 |
| e) <i>Mesure de la dureté</i> .....                                                          | 15 |
| APPRECIATION OBJECTIVE DE LA DESAGREGATION .....                                             | 15 |
| A. — VALEUR MOYENNE DE L'HOMOGENEITE .....                                                   | 15 |
| B. — PRINCIPE DE L'APPAREIL PROPOSE .....                                                    | 16 |
| C. — DESCRIPTION .....                                                                       | 16 |
| D. — ETALONNAGE DE L'APPAREIL .....                                                          | 23 |
| E. — INTERPRETATION MATHEMATIQUE DES RESULTATS - ETUDE STATISTIQUE .....                     | 24 |
| a) <i>Grandeur de l'échantillon</i> .....                                                    | 24 |
| b) <i>Différenciation entre deux échantillons</i> .....                                      | 24 |
| c) <i>Etude de la dispersion</i> .....                                                       | 25 |
| d) <i>Détermination d'un coefficient de dispersion</i> .....                                 | 25 |
| e) <i>Conclusion</i> .....                                                                   | 28 |
| F. — RESULTATS EXPERIMENTAUX .....                                                           | 28 |
| a) <i>Fidélité de l'appareil</i> .....                                                       | 28 |
| b) <i>Influence de l'humidité</i> .....                                                      | 30 |
| c) <i>Comparaison entre diverses méthodes de contrôle physique des grains</i> .....          | 30 |
| Comparaison entre le « Scléromètre » et le « Diaphonos-<br>noscope » .....                   | 35 |
| Comparaison entre la longueur de la plumule et les indica-<br>tions du « Scléromètre » ..... | 37 |
| Autres méthodes physiques .....                                                              | 37 |
| d) <i>Etude de la progression de la désagrégation au cours de la germi-<br/>nation</i> ..... | 38 |
| e) <i>Influence d'une trempe insuffisante sur la désagrégation</i> .....                     | 41 |
| f) <i>Influence variétale</i> .....                                                          | 41 |
| g) <i>Essai industriel</i> .....                                                             | 43 |
| CONCLUSIONS .....                                                                            | 45 |



